Postverlagsort Würzburg 2

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON

ERICH v. HOLST

HERAUSGEGEBEN VON

ERNST LAMLA

BEIRAT:

J. BARTELS · E. BEDERKE · H. BROCKMANN · P. TEN BRUGGENCATE · C. W. CORRENS · H. v. FICKER
R. GRAMMEL · O. HAHN · R. HARDER · M. HARTMANN · W. HEISENBERG · K. HENKE · A. KUHN
M. v. LAUE · H. MARTIUS · R. W. POHL · H. REIN

ORGAN DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN
ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

38. JAHRGANG | HEFT 22 (ZWEITES NOVEMBERHEFT) | 1951

INHALT:

AUFSÄTZE. Seite

Bienentänze in der Schwarmtraube. Von M. LINDAUER 509
Sommerfelds Lebenswerk. Von M. v. LAUE 513
Ein Kugelblitz auf einer Momentaufnahme? Von E. KUHN 518
Hundert Jahre Fizeauscher Mitführungsversuch. Von E. BUCHWALD 519

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN.

Hochauflösende Geschwindigkeitsanalyse mit magnetischen Elektronenlinsen. Von F. LENZ 524
Orientierte Verwachsungen von Kampfer und kampferähnlichen Verbindungen. Von M. BRANDSTÄTTER 525
Ein rasch konvergierendes Iterationsverfahren zur Lösung von Strahlungsgleichgewichts-Problemen. Von A. UNSÖLD 525
Mosaikblockgrenzen als Energieschwellen für Versetzungen. Von A. SEEGER 526
Altersbestimmung von Kalzitkonkretionen mit radioaktivem Kohlenstoff. Von H. W. FRANKE 527
Einwirkung von Ammoniak auf metallisches Quecksilber. Von R. WEBER 528

Seite

Über die enzymatische Glutathionhydrolyse durch isolierte Zellkerne aus Schweineniere. Von K. LANG, G. SIEBERT und L. MÜLLER 528
Über d-Peptidasen in isolierten Zellkernen. Von G. SIEBERT, K. LANG und L. MÜLLER 529
Über den Einfluß von Digitoxin auf die Extrahierbarkeit von Aktin aus dem Herzmuskel. Von G. KUSCHINSKY, F. TURBA und G. LANGE 529
Das Wesen der Trypaflavin-Agglutination unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse bei Shigella dysenteriae. Von W.-H. WAGNER und H. BREDEHORST 529
Abtötung von Drosophila-Eiern verschiedenen Alters durch partielle Röntgenbestrahlung. Von H. ULRICH 530
Zur Struktur der Paramecien-Trichocysten. Von M. KNOCH und H. KÖNIG 531
Hyperploidie in der Gattung Vitis. Von G. DE LATTIN 531
Zur Pathogenese der Hirnschwellung. Von G. WILKE unter Mitarbeit von H. GENSEL 532
Berichtigung 532

Einführung in die Mineralogie

(Kristallographie und Petrologie)

Von

Dr. phil. **Carl W. Correns**

o. ö. Professor der Mineralogie und Petrographie an der Universität Göttingen

Mit 405 Textabbildungen und 1 Tafel. VIII, 414 Seiten. 1949

DM 38.—; Ganzleinen DM 41.60

Inhaltsübersicht:

I. Teil. Kristallographie: 1. Kristallmathematik. — 2. Kristallchemie. — 3. Kristallphysik. — 4. Kristallwachstum und -auflösung. — **II. Teil. Petrologie:** 5. Einige physikalisch-chemische Grundlagen. — 6. Die magmatische Gesteinsbildung. — 7. Verwitterung und Mineralbildung im Boden. — 8. Die sedimentäre Gesteinsbildung. — 9. Die metamorphe Gesteinsbildung. — 10. Geochemische Ergänzungen. — **III. Teil. Anhang:** Sach- und Autorenverzeichnis.

Aus den Besprechungen:

„. . . Das Buch von C. W. Correns bringt einen sehr eingehenden Überblick über das weite Fachgebiet, nicht durch Vermehrung, sondern unter wesentlicher Verminderung der dazu gewöhnlich erforderlichen Seitenzahl und erreicht dieses Ziel nicht durch Vereinfachung des Inhalts, sondern im Gegenteil durch Vertiefung des Stoffes unter straffer Fassung der exakten Zusammenhänge. Dabei ist trotz der räumlichen Beschränkung eine ziemlich vollständige Übersicht gegeben. *„Zeitschrift für physikalische Chemie"*

„. . . Prof. Correns has covered such a vast range of topics—from structural parts of crystals to geospheres—that his book provides an excellent introduction not only to mineralogy as such but to crystallography, petrology and to geochemistry if this be considered in its widest sense. For a work of such compass and erudition the book is quite compact, and it is this compactness combined with the excellent arrangement of the material which makes it so useful." *„Acta Crystallographica"*

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen zweimal monatlich. Bestellungen nimmt jede Buchhandlung, in den Westzonen auch jedes Postamt entgegen. Preis vierteljährlich 12.— DM, für das einzelne Heft 2.50 DM, zuzüglich Postgebühren. Die Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte erhalten die Zeitschrift bei direktem Bezug vom Verlag im Abonnement mit einem Nachlaß von 20%.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachige Ausgaben vor.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden von der Anzeigenabteilung des Verlages (Berlin W 35, Reichpietschufer 20 [Britischer Sektor], Tel. 249251) angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Vertriebs-Vertretung im Ausland:

Lange, Maxwell & Springer Ltd., 41—45 Neal Street, London, W. C. 2

Springer-Verlag
Berlin · Göttingen · Heidelberg

Redaktionelle Hinweise.

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichung zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind, und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „KOM" („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platz- und Papiermangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne KOM nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Die KOM erscheinen „unter ausschließlicher Verantwortung der Autoren". Eine wissenschaftlich-kritische Stellungnahme der Herausgeber zu ihrem Inhalt erfolgt nicht. Die Redaktion prüft lediglich, ob ein genügendes Allgemein-Interesse vorliegt.

4. „Kurze Originalmitteilungen" aus dem englischen und französischen Sprachgebiet können in der Originalsprache veröffentlicht werden.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zuschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,

(20b) Göttingen, Theaterplatz 10, Fernsprecher 3371.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Photographische Abbildungen (Autotypien) können gebracht werden, soweit sachlich erforderlich. In vielen Fällen läßt sich jedoch das Wesentliche durch eine (leichter reproduzierbare) Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren der Aufsätze, Berichte und Buchbesprechungen erhalten eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung erbeten wird.

Bei den KOM wird zur Beschleunigung des Erscheinens die Korrektur von Text und Abbildungen von der Redaktion besorgt, soweit nicht der Autor bei Einsendung des Manuskriptes ausdrücklich den Wunsch äußert, diese Arbeit selbst vorzunehmen. Bei KOM ohne Figuren soll hierdurch das Erscheinen innerhalb 4 Wochen nach Eingang bei der Redaktion ermöglicht werden.

Besprechungsexemplare.

Es wird gebeten, von der unverlangten Zusendung von Büchern, besonders kleineren Broschüren und Zeitschriften-Heften, abzusehen und zunächst eine Anfrage an die Redaktion zu richten, die dann von sich aus Exemplare anfordern wird. — Für die Rückgabe unverlangter Sendungen kann keine Gewähr übernommen werden.

Statistische Urteilsbildung

Erläutert an Beispielen aus Medizin und Biologie

Von

Dozent Dr. phil. habil. **H. Gebelein**, Landshut (Bayern) und Dr. med. **H.-J. Heite**, wissenschaftl. Assistent an der Univ.-Hautklinik Münster

Mit einem Geleitwort von Professor Dr. med. **C. Moncorps**
Direktor der Hautklinik der Westfälischen Landesuniversität Münster

Mit 50 Textabbildungen und 20 Beispielen. XVI, 192 Seiten. 1951. DM 15.60

Inhaltsübersicht:

Geleitwort — Vorwort — Literaturhinweise — Inhaltsverzeichnis — Verzeichnis der Beispiele — Bezeichnungen und Abkürzungen — Das griechische Alphabet — Einleitung. — I. Bearbeitung einer Beobachtungsreihe für ein ganzzahliges Merkmal. — II. Behandlung einer kurzen Beobachtungsreihe mit stetigem Merkmal. — III. Aufbereitung umfangreicheren statistischen Materials mit stetigem Merkmal. — IV. Normalverteilungen. — V. Die normierte Gaußsche Verteilung. — VI. Normalverteilungen zweiter Art. — VII. Zwei Anwendungen der gleitenden Durchschnitte. — VIII. Korrelation zweier Beobachtungsreihen. — IX. Korrelation zwischen drei Beobachtungsreihen. — X. Korrelation bei einer zweiparametrigen Häufigkeitsverteilung. — XI. Bemerkungen über den Gebrauch der einfachsten Korrelationstabellen mit zwei oder drei Spalten und Zeilen. — XII. Zweiparametrige Normalverteilungen erster und zweiter Art. — XIII. Die Methode der Prüffunktionen. — XIV. Die drei kombinatorischen statistischen Schlüsse und ihre Anwendung. — XV. Die Betrachtungsweise der Vertrauens- und Mutungsgrenzen. — XVI. Verfahren zur Beurteilung einer sehr geringen Korrelation. Anhang: Tafel für e^x — Wurzeltafel — Sachverzeichnis.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

38. Jahrgang Heft 22 (Zweites Novemberheft) 1951

Bienentänze in der Schwarmtraube*).

Von MARTIN LINDAUER, München[1]).

Einleitung.

Wenn Bienen im Stock tanzen, dann sollen dadurch Fundstellen angezeigt werden, von denen es etwas einzuheimsen gibt: Nektar, Pollen, unter Umständen auch Wasser. Tänze werden aber nur ausgelöst, wenn die Tracht gut und reichlich ist und wenn im Stock starkes Bedürfnis darnach besteht, was die Sammlerin heimgebracht hat. Niemals aber fällt es einer Biene ein zu tanzen, wenn sie *leer* heimgekommen ist. Nur zur Schwarmzeit gibt es hiervon eine Ausnahme; da kann man Bienen tanzen sehen, die nichts gesammelt und heimgebracht haben: *es sind die Spurbienen eines Schwarmes, die einen geeigneten Nistplatz ausgekundschaftet haben.*

Es ist bekannt, daß ein Schwarm, der vom Imker nicht eingefangen wird, von seinem vorläufigen Anlegeplatz bald wieder abfliegt, um in seine endgültige Behausung einzuziehen. Diese neue Behausung wird nicht aufs Geratewohl von dem davonziehenden Schwarm aufgesucht, sie muß zuvor von Spurbienen entdeckt und als geeignet befunden worden sein; dann erst wird der ganze Schwarm nachgeholt.

Was im einzelnen hierbei vor sich geht, lag bisher wohl noch ganz im Dunkeln. In erster Linie galt es folgende zwei Punkte aufzuklären:

1. Wie gelingt es den Spurbienen, die einen Nistplatz aufgefunden haben, den ganzen Schwarm dorthin zu locken?

2. Was tritt ein, wenn die Spurbienen eines Schwarmes *mehrere* Nistplätze ausfindig gemacht haben; welcher davon wird ausgewählt?

Das Zoologische Institut hat mir im vergangenen Sommer alle anfallenden Schwärme aus seinem Bienenstand zur freien Verwendung überlassen; so standen mir 11 Naturschwärme und im Spätsommer noch drei Kunstschwärme für die geplanten Untersuchungen zur Verfügung. Sehr mißlich machte sich zunächst der Umstand geltend, daß die Schwärme sich gerne recht hoch und ungünstig auf den Bäumen ansetzten, so daß man die Vorgänge an der Traube nicht beobachten und erst recht nicht einzelne Bienen markieren konnte. Dem wurde schließlich dadurch abgeholfen, daß man die Königin aus der sich ansetzenden Traube herausfing, in einen Weiselkäfig sperrte und diesen unterhalb der Ansatzstelle bequem in Augenhöhe wieder an einen Ast hing. In kurzer Zeit sammelte sich so der Schwarm geschlossen um den Käfig.

Welche Bedeutung haben die Tänze in der Schwarmtraube?

Kurze Zeit nachdem sich der Schwarm an seinem ersten Anlegeplatz gesammelt hat, sieht man tanzende Bienen an der Traube, zuerst ganz vereinzelt, dann von Stunde zu Stunde immer mehr. Bei diesen Tänzerinnen handelt es sich nicht um Sammelbienen; man sieht sie nie Nektar abgeben oder mit Pollen beladen ankommen. In einigen Fällen war es ganz offenkundig, daß die Tänzerinnen sich nicht auf Blumen herumgetrieben, sondern in Mauerhöhlen, rußigen Kaminen und dergleichen gewühlt hatten; die einen waren nämlich um und um rotgrau mit Ziegel- und Mauerstaub, die anderen vollkommen schwarz mit Ruß bestäubt, und diese letzteren rochen zudem noch ganz deutlich nach Kaminkehrer. Pinselte man solche Bienen ab, so fand man im Mikroskop kein einziges Pollenkorn, sondern nur Ziegel- und Kalkstaub bzw. Rußpartikelchen.

Nur in ganz wenigen Ausnahmefällen konnten Tänzerinnen als Sammelbienen erkannt werden: zweimal hatten Rundtänzerinnen an einem sehr heißen Tag Wasser in der Nähe geholt, und bei drei Bienen war während des Tanzes eine Nektarabgabe festgestellt worden.

Die Tänze in der Schwarmtraube entsprechen in ihrer Form und ihrem Rhythmus ganz denen, wie wir sie von den Sammelbienen her kennen, mit dem einzigen Unterschied vielleicht, daß sie oft auffallend lang andauern; so sind Tänze, die länger als 5 min dauern, die Regel und solche über $^1/_4$ Std keine Seltenheit. In einzelnen Fällen konnte eine Tänzerin länger als 1 Std lang auf der Traube verfolgt werden[1]); die betreffenden Bienen tanzten in dieser Zeit zwar nicht ununterbrochen, flogen aber auch nicht ab, wie das die Sammelbienen in aller Eile tun, wenn sie mit dem Tanzen fertig sind, sondern setzten nach einer längeren Tanzpause unvermittelt wieder ihren Tanz fort.

Nebenbei sei auch erwähnt, daß man auf der Traube oft Tänze auf horizontaler Ebene sehen kann; dabei läßt sich besonders schön beobachten, wie eine Tänzerin, die zunächst auf der senkrechten Seitenfläche mit „indirekter" Richtungsangabe getanzt hat, sofort in ihrem Tanz die direkte Richtung angibt, wenn sie z. B. ganz oben auf den „Grat" der Traube kommt, wo sich bei starken Schwärmen immer eine ansehnliche horizontale Fläche vorfindet [*1*].

Besonders merkwürdig aber ist das Verhalten der Tänzerinnen in einem anderen Punkt: fast alle tanzenden Spurbienen zeigen zunächst *verschiedene Richtungen und Entfernungen an;* nach einigen Stunden oder auch nach einigen Tagen erst wird man feststellen können, *daß eine bestimmte Tanzform immer häufiger in Erscheinung tritt, andere Tänze dafür ganz ausbleiben.* Schließlich sieht man so gut wie alle Tänzerinnen mit gleicher Richtungs- und Entfernungsangabe tanzen, und zwar ununterbrochen 5 bis 10 Bienen gleichzeitig, ein Bild, wie es in einem Beobachtungsstock unter normalen Verhältnissen nie zu sehen ist.

Bis auf zwei Ausnahmen (s. S. 511) haben sich diese Vorgänge bei jedem Schwarm in gleicher Weise

*) Herrn Prof. K. v. FRISCH, dem Entdecker der Bienensprache, zum 65. Geburtstag am 20. November 1951 gewidmet.

[1]) Mit dankenswerter Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft.

[1]) Diese Bienen waren durch aufgeklebte Stanniolfähnchen besonders auffallend markiert worden.

wiederholt. Fig. 1 soll einen typischen Fall bildlich wiedergeben; es sei jedoch betont, daß hier nicht die Zahl der Tänze insgesamt, sondern nur die Zahl der gezeichneten Tänzerinnen aufgetragen ist. Da nur die Tänzerinnen vom „richtigen" Nistplatz (300 m OSO) stimmte Niststelle, und diese allein zeigen schließlich sämtliche Tänzerinnen an. Ich konnte dabei wiederholt feststellen, daß Spurbienen, die zuvor durch ihren Tanz um einen anderen, offenbar von ihnen selbst aufgefundenen Nistplatz geworben hatten, das Tanzen

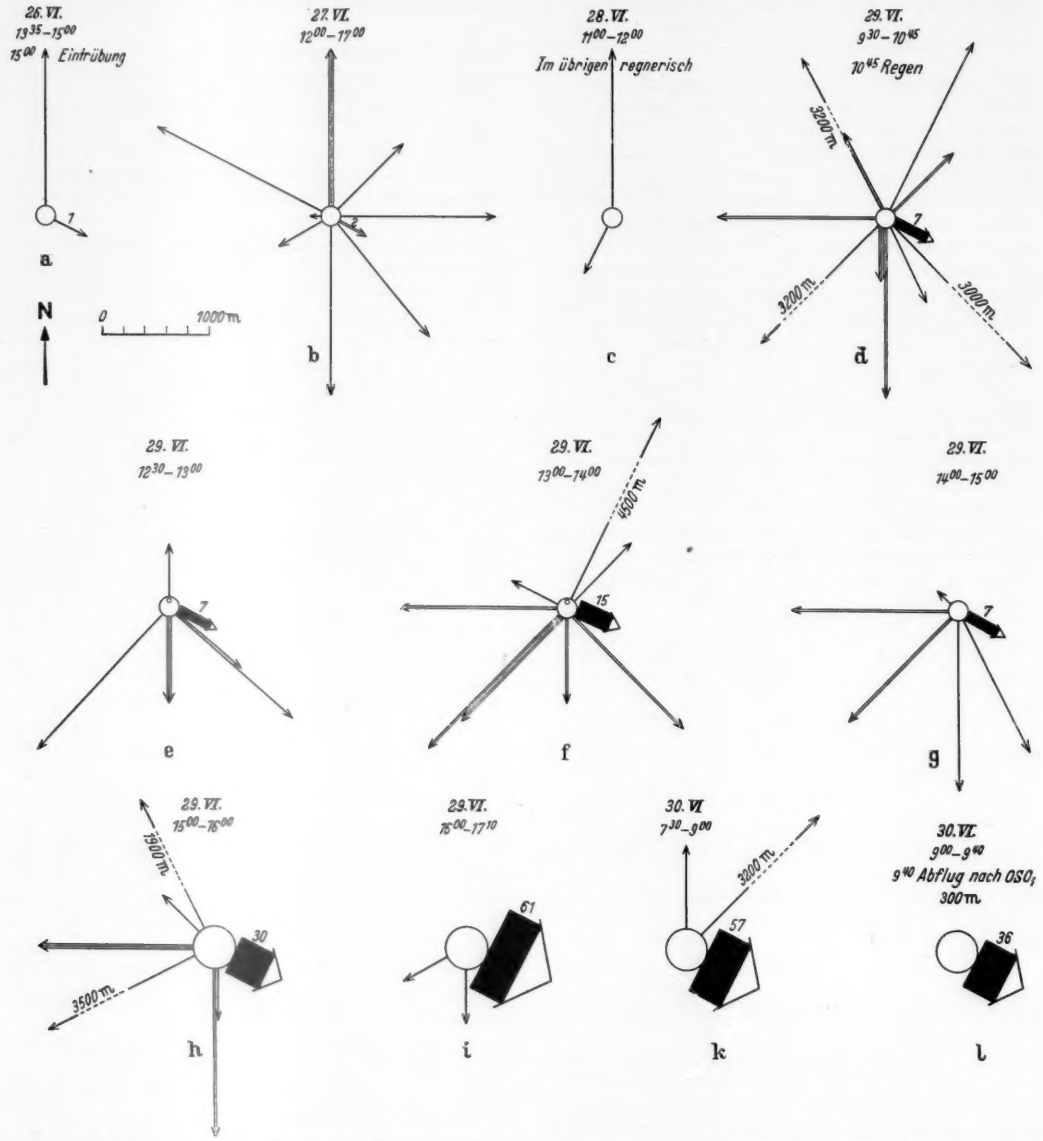


Fig. 1 a—l. Richtungs- und Entfernungsangabe der Tänzerinnen in der Schwarmtraube des „*Eckschwarmes*". Im Versuch waren fortlaufend alle Spurbienen beim ersten Tanz markiert worden. Die Pfeile geben die angezeigte Richtung und Entfernung dieser Tänze an. Die Zahl der Pfeillinien entspricht der Zahl der neugezeichneten Tänzerinnen; die große Anzahl der Tänzerinnen nach OSO/350 m gibt vereinfacht eine entsprechende Pfeildicke mit beigegebener Zahl an; für jede *Rundtänzerin* ist ein Ringel im Kreis eingesetzt. Ergänzende Daten über diesen Schwarm gibt Tabelle 1.

den Tanz durchhielten, alle anderen aber ihre Tänze mit der Zeit einstellten, steigerte sich die Zahl der richtigen Tänze natürlich in viel stärkerem Maße.

Aus der Figur läßt sich wohl folgendes herauslesen: die Spurbienen eines Schwarmes kündigen durch ihre Tänze zunächst verschiedene Nistplätze an. Auf irgendeine Weise einigt man sich dann auf eine beeinstellten und nach einer Weile Tänzerinnen vom gemeinsam ausgewählten Nistplatz verfolgten und diesen bald darauf auch durch den entsprechenden neuen Tanz anzeigten. Sie hatten sich also umstimmen lassen.

Erst wenn alle Spurbienen eines Schwarmes sich auf *einen* Nistplatz geeinigt haben, d.h. wenn sie alle

gleich tanzen, kann man damit rechnen, daß der Schwarm in absehbarer Zeit abziehen wird. Aber auch dann dauert es noch eine gute Weile, bis alles zum Abzug bereit ist; die Traube muß jetzt noch eingehend über die Lage dieses ausgewählten Wohnsitzes informiert werden. In sechs Fällen wurden wie bei dem eben erwähnten Eckschwarm (Fig. 1) fortlaufend alle Tänzerinnen bis zum Abzug des Schwarmes markiert. Dabei waren jedesmal mehr als Hundert, im Mittel 122 Tänzerinnen vom richtigen Nistplatz vertreten. Hieraus läßt sich folgern, daß in jedem Fall sicherlich mehr als 1000 Bienen in der Traube darüber Bescheid wußten, wohin die Reise beim Umzug gehen sollte. Dementsprechend sieht man im ziehenden Schwarm ständig Hunderte von „Führungsbienen" vor- und rückwärts fliegen; sie sind es wohl, die den Schwarm so zielsicher in die neue Behausung führen (vgl. Fig. 3).

Die Zugrichtung des Schwarmes entsprach in neun von elf Fällen in der Tat derjenigen, wie sie die Tänzerinnen gemeinsam vor dem Abflug angezeigt hatten (Tabelle 1). Auf Grund dieser „Vorhersage" konnten beispielsweise die Posten, die den Schwarm verfolgen sollten, ohne Bedenken in dem Augenblick, wo sich die Traube auflöste, an bestimmten Straßenpunkten in der Nähe aufgestellt werden; jedesmal kam der Schwarm an diesen Stellen vorbei.

Störend kann sich allerdings für eine genaue Vorhersage die „Mißweisung" der Spurbienen, die ja stets unter freiem Himmel tanzen, bemerkbar machen [2]. Die Abweichungen in Tabelle 1 sind darauf zurückzuführen. Einmal wurde versucht, diese Mißweisung dadurch auszuschalten, daß über der Traube der ganze Himmel mit weißen Leinentüchern verhüllt wurde, aber da tanzten die Spurbienen dann überhaupt nicht mehr.

Besonderes Interesse verdienen jene zwei schon erwähnten Sonderfälle: Der Bodenschwarm, der am 20. Juni nachmittags geschwärmt hatte, zog überhaupt nicht mehr von seinem ersten Anlegeplatz weg; 14 Tage lang saß er dort, und als er am 3. Juli endlich eingeschlagen wurde, zeigte sich, daß er bereits an die Zweige drei Waben angebaut hatte, von denen die mittlere zudem zur Hälfte bestiftet war; auch Honig und Pollen waren in kleiner Menge in den Zellen gestapelt.

Es war bei diesem Schwarm von Anfang an aufgefallen, daß die Spurbienen sich nicht recht einig werden wollten; wohl waren zwei Hauptgruppen zu erkennen; die eine, die ständig mit Ziegelstaub verdreckt war, wollte im Nordosten in 800 m Entfernung offenbar in eine Ruine einziehen; die zweite — mit Mehl und Kleie verstaubt — hatte im Süden, 500 m entfernt, vermutlich einen Mehlspeicher oder ähnliches gefunden; nach einer Schlechtwetterperiode waren am 29. Juni von den beiden Gruppen nur mehr ganz wenige Tänzerinnen gezählt worden, dafür sah man aber jetzt von Tag zu Tag mehr Tänzerinnen Nektar abgeben oder mit Pollen beladen ankommen.

Was hatte diesen Schwarm veranlaßt, an seinem ersten Anlegeplatz sich seßhaft zu machen? Folgende Beobachtungen geben vielleicht für die hierzu noch ausstehende Klärung wertvolle Hinweise:

Fig. 2. So hinterließ der Kugelbaumschwarm seinen ersten Anlegeplatz, an dem er wegen ungünstiger Witterung vier Tage lang verbleiben mußte. In dieser Zeit war ein Wabenstück von der Größe einer Handfläche fertiggestellt worden.

Aus Tabelle 1 läßt sich ersehen, daß mehrere Schwärme an ihrem vorläufigen Anlegeplatz nicht nur einmal übernachtet, sondern mehrere Tage dort sitzen geblieben sind, um dann aber wie gewohnt ihren endgültigen Wohnsitz aufzusuchen. In solchen Fällen konnte festgestellt werden, daß der Schwarm an diesem vorläufigen Anlegeplatz bereits *zu bauen angefangen hatte*. Der Kugelbaumschwarm hinterließ sogar eine ganz ansehnliche Wabe, die in diesem Fall aber noch nicht bestiftet war; auch Honig oder Pollen war nicht abgelagert (Fig. 2).

Soll man diese Dinge als Ausschreitung eines hemmungslosen Bautriebes deuten? Oder sollen wir hier ein Anzeichen dafür sehen, daß ein Schwarm sich auch dann aus der gefährlichen Lage zu retten weiß, wenn die Spurbienen versagen sollten?

Tabelle 1. *Vergleich der Angaben der Spurbienen mit dem wirklich eingeschlagenen Weg bei 11 beobachteten Bienenschwärmen.*

	Geschwärmt am		Abgezogen am		Tanzende Spurbienen		Zugrichtung des Schwarmes	Abweichung der vorausgesagten Richtung von der wirklichen Zugrichtung	Entfernung des Nistplatzes
	Tag	Zeit	Tag	Zeit	Richtungsangabe	Entfernungsangabe			
Zaunschwarm	24. 5.	14.40	25. 5.	11.25	NO	1500 m	NO	6° nach N	unbekannt
Gipfelschwarm	14. 6.	8.30	15. 6.	11.20	WNW	2800 m	WNW	16° nach N	unbekannt
Lindenschwarm	18. 6.	11.10	18. 6.	15.20	SSW	800 m	SSW	10° nach W	unbekannt
Bodenschwarm	20. 6.	15.45	zieht nicht ab		NO und S	800 m und 500 m	—	—	—
Akazienschwarm	21. 6.	9.35	23. 6.	9.43	N	900 m	N	12° nach O	960 m
Kugelbaumschwarm	26. 6.	12.20	30. 6.	9.50	OSO	380 m	OSO	5° nach S	320 m
Eckschwarm	26. 6.	13.35	30. 6.	9.40	OSO	350 m	OSO	15° nach S	300 m
Nymphenburger Schwarm	6. 7.	ca. 13.00	7. 7.	15.43	S	550 m	S	8° nach O	unbekannt
Rotdornschwarm	9. 7.	9.25	10. 7.	10.26	W	4500 m	WSW	20° nach W	unbekannt
Ulmenschwarm	11. 7.	14.40	18. 7.	15.25	SW	1500 m	SW	6° nach W	unbekannt
Moosacher Schwarm	16. 6.	10.35	17. 6.	11.10	WNW und NNO	1400 m und 900 m	—	—	—

Im zweiten Fall, beim Moosacher Schwarm, konnte ebenfalls keine Einigung über einen bestimmten Nistplatz erzielt werden. Mehrere Stunden lang warben zwei gleichstarke Tanzgruppen um ihren Fundort; der eine lag 1400 m in WNW, der andere 900 m in NNO. Diesmal flog der Schwarm aber trotzdem auf, zog jedoch nicht wie gewohnt in einer bestimmten Richtung davon, sondern suchte sich aufzuteilen: die eine Hälfte strebte nach WNW, die andere nach NNO; dabei stieß einmal die erste Gruppe 40 m weit vor, kehrte

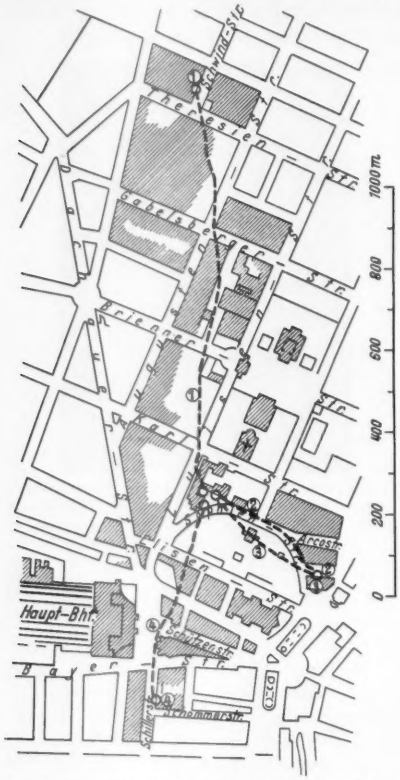


Fig. 3. Der Zugweg der drei Schwärme, die bis zum Nistplatz verfolgt werden konnten. Nr. 1. Akazienschwarm: vom Zoologischen Institut (München, Luisenstr. 14) zur Schwindstraße. Nr. 2. Kugelbaumschwarm: vom Zool. Inst. zur Sophienstraße. Nr. 3. Eckschwarm: vom Zool. Inst. zur Sophienstraße. Nr. 4. Lindenschwarm: vom Zool. Inst. zum Zwischenlandeplatz in der Schillerstraße.

dann wieder zum großen Haufen zurück, dann kam die andere Gruppe 50 bis 60 m zum Durchbruch, und so ging das eine volle halbe Stunde weiter. Schließlich setzte sich der Schwarm, 30 m von seinem ersten Anlegeplatz entfernt, neuerdings an einem Zwetschgenbäumchen an. Unverzüglich setzten dort beide Gruppen ihre Tänze fort, und erst nach etwa 3 Std war zu erkennen, daß die NNO-Gruppe endlich nachgab. Bis zum Abend hatten sich fast alle Tänzerinnen auf den Platz 1400 m in WNW geeinigt. Leider wurde die weitere Beobachtung durch fremde Zugriffe unmöglich gemacht.

Die Tatsache, daß die übrigen neun Schwärme in der Richtung abzogen, die durch die Tänzerinnen angegeben worden war, machte es schon wahrscheinlich, daß die Tänze auf der Traube wirklich den künftigen Wohnsitz anzeigen. In drei Fällen konnte hierfür der endgültige Beweis erbracht werden: dreimal gelang es nämlich, einen Schwarm bei seinem Umzug vom ersten Anlegeplatz bis zu seiner neuen Behausung zu verfolgen; einer von ihnen logierte sich über einem Fenstersims in dem Hause Schwindstraße Nr. 3 ein, die beiden anderen dicht nebeneinander in einer instandgesetzten Ruinenmauer in der Sophienstraße Nr. 2. Bis heute kann man an diesen drei Stellen die Bienen aus- und einfliegen sehen. Fig. 3 zeigt den genauen Flugweg dieser drei Schwärme beim Umzug, und Tabelle 1 gibt Rechenschaft darüber, wie weit die vorausgesagte Entfernung des Nistplatzes von der tatsächlichen abwich.

Bei einem weiteren Schwarm gab es während des Umzuges eine neue Überraschung: Der Lindenschwarm zog in auffallend langsamem Flug 500 m weit vom Institut in die Schillerstraße und setzte sich dort nach langem Zögern unter dem Vordach eines Konditoreikioskes an. Die Tänzerinnen dieses Schwarmes hatten vorher wohl in Richtung Schillerstraße gezeigt, aber nicht 500 m, sondern 800 m als Entfernung angegeben. Der Schwarm hatte also offenbar mit seiner flugschwachen zweijährigen Königin eine Zwischenlandung gemacht; dies ging auch daraus hervor, daß in der Schillerstraße die alten markierten Bienen neuerdings zu tanzen anfingen, wobei sie wieder die alte Richtung, aber nicht mehr 800 m, sondern 350 m als Entfernung angaben. Auch hier konnte das weitere Schicksal des Schwarmes nicht verfolgt werden.

Die Vorgänge am neuen Nistplatz, ehe der Schwarm einzieht.

Daß die Spurbienen zwischen Schwarmtraube und Nistplatz hin- und herflogen, wobei die einen mehr Zeit auf der Traube mit dem Tanzen verbrachten, andere sich nur ganz selten beim Schwarm blicken ließen, war den bisherigen Beobachtungen ohne weiteres zu entnehmen.

Was diese Bienen am Nistplatz treiben und was sie veranlaßt, immer wieder dorthin zu fliegen, wo es doch gar nichts zu holen gibt, das sollten die weiteren Untersuchungen zeigen. Trotz aller Bemühungen gelang es mir bis jetzt nur ein einziges Mal, den Nistplatz auf Grund der Tänze der Spurbienen vor dem Einzug des Schwarmes aufzufinden; schuld daran war einerseits, daß man im Stadtgebiet zu weiten Gebäudekomplexen und Gartenanlagen keinen Zutritt hat, zum andern, daß ich selbst mir ganz falsche Vorstellungen gemacht hatte, wie so ein Nistplatz aussehen könnte. So haben auch erfahrene Imker die Nistplätze in Fig. 4 nicht erkannt, obwohl sie direkt davor standen und die Bienen lebhaft aus- und einflogen.

In dem einen Fall, es war dies beim Nymphenburger Schwarm, der im Botanischen Garten gefunden worden war, wurde das Auffinden insofern erleichtert, als die Spurbienen einen sehr nahen Nistplatz — 120 m östlich — anzeigten. Dennoch mußte ich eine halbe Stunde lang an der betreffenden Stelle suchen, bis ich endlich auf dem Vordach der Botanischen Staatssammlung zwischen den Fugen der Dachziegel an die 100 Bienen aus- und einfliegen sah. Mit dem Fernglas ließ sich feststellen, daß die einen davon lebhaft an den Fugen sterzelten, andere ganz wild aus- und einflogen, wieder andere erregt vorspielten und die weitere Umgebung absuchten. Nach 1 Std kam tatsächlich ein Schwarm geflogen und zog unter das Vordach ein, aber zu meiner Überraschung war es nicht mein Nymphenburger

Schwarm; es mußte ihm ein anderer Schwarm zuvorgekommen sein, der den gleichen Nistplatz — ähnlich wie die beiden Schwärme in der Sophienstraße — ausfindig gemacht hatte; schlagartig hörten nämlich jetzt alle Tänze an der Traube auf und erst um die Mittagstunden des folgenden Tages hatte sich wieder eine neue Tanzgruppe für 550 m im Süden herausgebildet, die den Schwarm um 16.20 Uhr nach Süden abführte.

Eine Möglichkeit, den Nistplatz sicher aufzufinden, sah ich schließlich nur noch darin, einen Schwarm auf einer Insel auszusetzen, auf der es für die Bienen nur wenige und kontrollierbare Behausungen geben konnte. Für den ersten Versuch wurde die Hallig Oland bei den nordfriesischen Inseln gewählt und ein Kunstschwarm von München dorthin gebracht. Hier blieb den Spurbienen nichts anderes übrig, als in den paar Hütten sich einen Wohnsitz zu suchen oder aber mit dem Kasten vorlieb zu nehmen, der in der Nähe als „Schwarmfalle" windgeschützt und vermummt mit trockenem Seegras und allem möglichen Strandgut aufgestellt war. Der Versuch gelang; am zweiten Tag zog der Schwarm dort ein. Vorher hatte sich folgendes abgespielt:

Am zweiten Tag um 8.55 Uhr morgens sah ich die erste Spurbiene am Kasten herumschwärmen; als ich hinzukam, setzte sie sich auf dem Seegrashaufen zur Ruhe und putzte sich 2 min ganz gemächlich; dann flog sie mehrmals durchs Flugloch aus und ein, blieb $2^1/_2$ min im Kasten und flog zur Traube zurück, ohne dort zu tanzen. Nach 8 min flog sie wieder zum Kasten, trieb sich dort 9 min lang in gleicher Weise herum, aber erst nach dem dritten Erkundungsflug, bei dem sie lebhaft am Flugloch sterzelte, tanzte sie an der Traube einen kurzen Rundtanz. Sie flog nun in Abständen von 5 bis 15 min hin und her, tanzte jedesmal sehr lebhaft, und in Kürze erschienen neue Bienen am Kasten, die auch sterzelten und erregt aus- und einflogen; jede Einzelheit um den Kasten wurde genau inspiziert, wobei auch während des Fluges das Duftorgan ausgestülpt war; insbesondere fiel auf, daß sich die Bienen, die gerade ums Flugloch herumsaßen, öfters gegenseitig fütterten. Bis 11.30 Uhr waren an der Traube 42 Rundtänzerinnen gezeichnet worden, am Kasten verkehrten aber neben diesen markierten mindestens genau so viel unmarkierte Bienen. Nur eine einzige Spurbiene konnte in dieser Zeit gezeichnet werden, die *anders* getanzt hatte und zwar mit Richtung zu den Hütten in 400 m Entfernung. Um 11.32 Uhr flog der Schwarm wie üblich auf, zog zum Kasten und nistete sich dort ein. 1 Std später sah man schon einzelne Bienen ihre ersten Orientierungsflüge unternehmen.

Diese Beobachtungen sollen im kommenden Sommer durch weitere Versuche ergänzt werden, und es ist zu hoffen, daß sich hierbei auch jenes Geheimnis

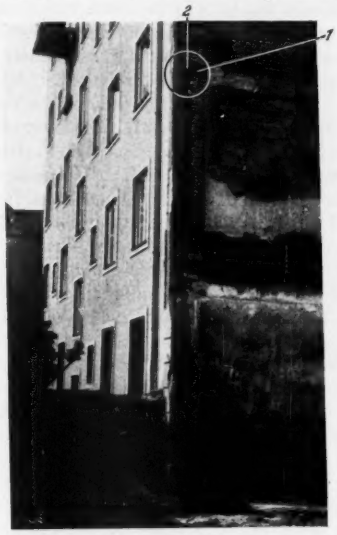


Fig. 4. Die Nistplätze des Kugelbaum- (*1*) und des Eckschwarmes (*2*) in der Sophienstraße.

lüften läßt, das die Spurbienen noch nicht preisgegeben haben, nämlich: wie man sich auf einen von den vielen angebotenen Nistplätzen einigt. Vielleicht steht damit ein anderes Problem in engem Zusammenhang, das im Laufe der Untersuchungen aufgetaucht ist: Wie muß ein Nistplatz eigentlich beschaffen sein, damit er von den Spurbienen als geeignet befunden wird und sie zum Tanzen veranlaßt?

Literatur.

[*1*] FRISCH, K. v.: Österr. zool. Z. **1**, 1 (1946). [*2*] FRISCH, K. v.: Naturwiss. **35**, 12, 38 (1948).

Aus dem Zoologischen Institut der Universität München.

Eingegangen am 26. September 1951.

Sommerfelds Lebenswerk.

Nachruf, gehalten am 15. Juni 1951 vor der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin.

Von M. v. LAUE, Berlin-Dahlem.

Am 26. April 1951 ist ARNOLD SOMMERFELD an den Folgen eines Verkehrsunfalls gestorben. Wir stehen am Grabe eines der Großen unserer Wissenschaft und fragen uns rückblickend nach dem Gesamtergebnis seines Wirkens. Mir ist die Aufgabe zugefallen, und ich habe sie gern übernommen, sein Lebenswerk Ihnen kurz vor Augen zu führen. Es ist uns wohl klar, daß ich dabei unmöglich die ganze Fülle der Fortschritte vor Ihnen ausbreiten kann, welche die Physik SOMMERFELD verdankt; dies erforderte ein Buch. Aber, was mir bei SOMMERFELD das Wesentlichste zu sein scheint, darüber möchte ich hier das Wort an Sie richten.

ARNOLD SOMMERFELD wurde am 5. Dezember 1868 zu Königsberg in Preußen geboren. Sein Vater, FRANZ SOMMERFELD, war von Beruf Arzt, daneben Sammler von allerlei Naturalien und ein großer Freund der Naturwissenschaften. ARNOLD SOMMERFELD besuchte das altstädtische Gymnasium seiner Vaterstadt, auf dem zu etwa gleicher Zeit auch HERMANN MINKOWSKI, MAX und WILLY WIEN erzogen wurden. 1886, also mit knapp 18 Jahren, ging er mit dem Zeugnis der Reife an die Universität Königsberg und entschied sich nach einigen Schwanken für Mathematik, die damals in der Tat dort vortrefflich durch F. LINDEMANN,

A. Hurwitz und David Hilbert vertreten war. Daß er daneben auch Nationalökonomie und Philosophie hörte, hat seine Entwicklung wohl wenig beeinflußt. Königsberg war eine der wenigen Universitäten, welche damals ein Ordinariat und ein eigenes Institut für theoretische Physik besaßen. Deren Inhaber, P. Volkmann, der Nachfolger von Franz Neumann, scheint freilich keinen großen Einfluß auf den jungen Sommerfeld ausgeübt zu haben, vermochte sich wohl auch nicht dem großen Umschwung zur Maxwellschen Theorie anzupassen, welche die Hertzschen Versuche gerade in Sommerfelds Studienzeit der Physik brachten. Hingegen schwebte diesem als Vorbild der 7 Jahre ältere Emil Wiechert vor, ein tiefer, etwas einsamer Denker, mit dem Sommerfeld bald eine Freundschaft fürs Leben schloß. Gemeinsam konstruierten beide einen harmonischen Analysator, den zwar bald bessere Maschinen dieser Art verdrängten, der aber doch durch eine seltsame Verknüpfung der Dinge zu Sommerfelds erster großer Arbeit führte.

Dieser Analysator sollte nämlich zur Auswertung von Erdthermometerbeobachtungen dienen, welche von einer Station im botanischen Garten stammten. Dazu bedurfte es einer mathematischen Theorie für die Wärmeleitung im Erdboden, die dadurch erschwert war, daß sich die Station am Fuße einer kleinen Erhebung befand. Man mußte die Wärmeleitungsgleichung für einen Raum integrieren, der durch zwei sich schneidende Ebenen begrenzt ist. Sommerfeld suchte deshalb nach Lösungen jener Differentialgleichung für eine mehrblättrige Riemannsche Ebene. Verfehlte er auch wegen Nichterfüllung einer Randbedingung das richtige Ergebnis, so tauchte doch hier zuerst jener glänzende Gedanke auf, der später seine Behandlung der Beugung an der Kante ermöglichte.

1891 schrieb Sommerfeld in wenigen Wochen seine Dissertation „Die willkürlichen Funktionen in der mathematischen Physik" nieder und promovierte mit ihr. 1892 legte er dann die Prüfung für das Lehramt ab und genügte anschließend seiner Militärpflicht. Aber schon vorher tat er den ersten tastenden Schritt in die hohe Theorie der Physik. Anschließend an Lord Kelvin versuchte er eine mechanische Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen. Doch wurde ihm bald klar, daß dabei nicht viel herauskomme.

Im Oktober 1893 geschah etwas für alles Weitere Entscheidendes: Sommerfeld ging nach Göttingen, damals wie auch später einer Hochburg der Mathematik. Auf Grund persönlicher Beziehungen wurde er Assistent von Theodor Liebisch am Mineralogischen Institut. Die pflichtgemäße Beschäftigung mit Kristallographie trug 1912 Früchte, indem Sommerfeld bei den ersten Experimenten über die Röntgenstrahlinterferenzen an Kristallen W. Friedrich, P. Knipping und mir wertvolle Ratschläge geben konnte. Aber sein eigentliches Interesse blieb bei der Mathematik und der mathematischen Physik, und ihm konnte er sich mit voller Kraft hingeben, als er ein Jahr später Assistent bei Felix Klein wurde. Hier formte sich nun Sommerfelds Persönlichkeit unter dem, wie er selbst sagte, überwältigenden Eindruck eines wissenschaftlichen Erziehers im besten Sinne des Wortes. Klein wies Sommerfeld zielbewußt auf die mathematische Physik hin und fesselte ihn an die ihm eigene Auffassung mathematischer, mathematisch-physikalischer, insbesondere mechanischer Probleme. Diese genaue Kenntnis der mathematischen Methoden der Mechanik hat noch nach Jahrzehnten Sommerfelds quantentheoretische Arbeiten sichtlich beeinflußt, wie sich denn überhaupt an seinem Falle die Regel bestätigt, daß die Leistungen des Mannes auf den Eindrücken beruhen, die der Jüngling empfing. Hier erwarb sich Sommerfeld ferner seine Meisterschaft im Umgang mit Kugel- und Besselschen Funktionen, für welch letztere er bald darauf eine berühmte Integraldarstellung gab, die übrigens nur eins der vielen Beispiele für seine fast sportliche Virtuosität in der Auswertung bestimmter Integrale in der komplexen Ebene bildete. Hier wurde er energisch auf die wissenschaftliche Literatur in englischer Sprache hingewiesen, welche vor jener Zeit sonst bei uns nicht immer die gebührende Beachtung fand. Ein bleibendes Zeugnis der Zusammenarbeit von Klein und Sommerfeld bildet das große Werk über den Kreisel, das in jenen Jahren begonnen, allerdings erst 1910 vollendet wurde. Ebenso zeugt davon Sommerfelds Mitarbeit an der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften, deren Organisator Felix Klein war. Aber vielleicht als das Allerwichtigste ging von dem großen Lehrer Klein die Vortragskunst auf Sommerfeld über, die Kunst der Darstellung überhaupt, und von dem großen Organisator Klein die Kunst der Menschenkenntnis und der Menschenbehandlung, wobei beides wohl nicht in solchem Maße gelungen wäre, hätte der Jüngere nicht schon erhebliche Anlagen dazu mitgebracht.

Im merkwürdigen Gegensatz hierzu hat Sommerfeld keinen wissenschaftlichen Kontakt gehabt mit dem genialen Thermodynamiker und Chemiker W. Nernst, der in denselben Jahren in Göttingen wirkte.

Aber Sommerfeld war in jener Assistentenzeit keineswegs nur ein Empfangender. Vielmehr stammt aus ihr eine hochbedeutende eigene Leistung, die Behandlung der Lichtbeugung an der Kante, die erste mathematische strenge Behandlung eines Beugungsproblems überhaupt. Hier übertrug Sommerfeld den schon erwähnten Gedanken, Lösungen der zuständigen Differentialgleichung in mehrblättrigen Riemannschen Ebenen aufzustellen, auf die Schwingungsgleichung und überwand damit mit einem Schlage alle mathematischen Schwierigkeiten, die früher berühmte Vorgänger, z. B. Gustav Kirchhoff, zur Beschränkung auf Näherungen gezwungen hatten. Viele Untersuchungen anderer haben sich daran angeschlossen; man hat auch für andere Beugungsprobleme strenge Lösungen gefunden, aber keine, deren grundlegende Idee so sehr an das Ei des Columbus erinnert wie die genannte. Denselben Kunstgriff verwandte Sommerfeld übrigens bald darauf auch für die Beugung kurzer elektromagnetischer Impulse, weil man sich damals mit Stokes und Wiechert die Röntgenstrahlen aus solchen zusammengesetzt dachte.

Mit dieser Arbeit, für die sich außer Klein auch Woldemar Voigt lebhaft interessierte, der die theoretische Physik in Göttingen lehrte, habilitierte sich Sommerfeld 1895 für Mathematik. Er stürzte sich mit Begeisterung in die Lehrtätigkeit. Wahrscheinlichkeitsrechnung, projektive Geometrie, Flächentheorie, Variationsrechnung, das waren seine Themen während der 5 Dozenten-Semester. Aus dieser Zeit stammt die 1898 erschienene Arbeit über die Hertzschen Wellen an Drähten. Diese hatten in den Hertzschen Experi-

menten eine Rolle gespielt, und es lagen mehrere Näherungsmethoden für ihre theoretische Behandlung vor. SOMMERFELD vermochte das Problem streng zu lösen mit Hilfe der BESSELschen Funktionen, die damit zu besonderen physikalischen Ehren kamen. Allerdings bestätigten seine Ergebnisse wie bei der Lichtbeugung nur, daß die älteren Näherungsmethoden physikalisch ausreichende Ergebnisse erzielt hatten. Aber eine strenge Lösung gewährt nun einmal weit größere innere Befriedigung als eine genäherte.

1897 folgte SOMMERFELD einem Rufe als Ordinarius der Mathematik an die Bergakademie Clausthal, wo er vor allem Elementarmathematik zu lehren hatte. 1900 wurde er sodann für technische Mechanik an die Technische Hochschule Aachen berufen.

Dies bedeutet einen großen Wechsel in seiner Tätigkeit; er mußte sich in Forschung und Lehre vorwiegend mit technischen Problemen beschäftigen. Er erreichte dabei in kurzer Zeit die Anerkennung der Praktiker, die ihm anfangs als einem „Mathematiker" mit einigem Mißtrauen begegnet waren. Das wichtigste Ergebnis dieser Umstellung war die „Hydrodynamische Theorie der Schmiermittelreibung", die, wie SOMMERFELD selbst es in einer kurzen Autobiographie ausdrückt: „in einem der exakten Behandlung anscheinend unzugänglichen Gebiete der Macht des mathematisch-physikalischen Gedankens zum Siege verhalf". Die Arbeit gilt heute noch als grundlegend. Auch die Behandlung des Wechselstromwiderstandes von Spulen gehört, mindestens halb, in den Bereich der Technik.

Aber die Liebe zur reinen Wissenschaft ließ sich nun einmal nicht unterdrücken. In jenen Zeiten, in der sich die Relativitätstheorie allmählich vorbereitete, war die Dynamik des Elektrons eine wichtige Frage für Experiment und Theorie. Auf Grund der LORENTZschen Vorstellung vom ruhenden Äther und vom starren, kugelförmigen Elektron suchte SOMMERFELD, mittels der retardierten Potentiale dem Problem beizukommen. Für gleichförmige Geschwindigkeiten, kleiner als die des Lichtes, ergab sich dabei, wie vorher bei MAX ABRAHAM, die Gültigkeit des Trägheitsprinzips; nur war der Impuls nicht zur Geschwindigkeit proportional, sondern stieg mit dieser stärker an. Für beschleunigte Bewegung ergab sich Ausstrahlung von Energie. Aber SOMMERFELD zog auch Überlichtgeschwindigkeiten in den Bereich der Betrachtungen, und dabei fanden sich ganz neue und damals unerwartete Resultate. Das Feld folgte nicht mehr der Bewegung des Elektrons, sondern blieb dahinter zurück in Form einer Kopfwelle, wie wir sie bei Überschallgeschwindigkeiten von Körpern in Luft jetzt hinreichend kennen. Es fand also dauernd eine Energiestrahlung, eine Bremsung des Elektrons, statt. Diese Arbeiten erregten damals einiges Aufsehen, nicht zum wenigsten wegen der unerhörten mathematischen Schwierigkeiten, welche SOMMERFELD gemeistert hatte. Es war für den Autor wohl eine gewisse Enttäuschung, als bald darauf die Relativitätstheorie die Unmöglichkeit von Überlichtgeschwindigkeiten dartat, ebenso die Unmöglichkeit der starren Kugelform. Eine nachträgliche Genugtuung erlebte er aber, als 1934 R. A. TSCHERENKOW für Elektronen, die sich innerhalb der Materie schneller als mit der dafür gültigen Lichtgeschwindigkeit bewegen, in der nach ihm benannten Strahlung eine solche optische Kopfwelle nachwies, die mit der für den leeren Raum von SOMMERFELD berechneten manche Züge gemeinsam hat.

Es waren wohl vor allem diese Arbeiten, welche die Aufmerksamkeit von H. A. LORENTZ auf den jüngeren Kollegen lenkten. Seinem Einfluß verdankt SOMMERFELD wesentlich die Berufung auf den seit 7 Jahren verwaisten Lehrstuhl für theoretische Physik an der Universität München. Als BOLTZMANN diesen aufgegeben hatte, hatte sich RÖNTGEN, der damals die experimentelle Physik in München vertrat, in einem gewissen, bei großen Experimentatoren nicht so seltenen Mißtrauen gegen theoretische Physik überhaupt, lange gesträubt, einen Nachfolger berufen zu lassen. Erst 1906 machte die Münchener Universität den Versuch dazu, nämlich H. A. LORENTZ zu gewinnen; nachdem dieser abgelehnt hatte, berief sie auf dessen Rat hin SOMMERFELD. FELIX KLEIN, dessen Herz an der Mechanik hing, soll, so erzählte mir SOMMERFELD einmal, über den Verlust, den dieser Zweig durch SOMMERFELDs Fortgang von Aachen erlitt, wenig erbaut gewesen sein. Aber für die Physik, das können wir heute mit Bestimmtheit sagen, war es ein Segen, daß SOMMERFELD an eine Stelle kam, an der er seine Kraft ganz der reinen Wissenschaft widmen konnte. Dies bedeutet nicht, daß er nunmehr technischen Problemen ganz entsagt hätte; noch Jahrzehnte später begegnen wir Arbeiten aus seiner Feder über die Ausbreitung elektrischer Wellen am Erdboden und ähnlichem. Aber dennoch bedeutet diese Berufung die große Zäsur in seinem äußeren Dasein, die ihn endgültig zum Physiker machte.

Inzwischen hatte EINSTEIN die Relativitätstheorie in den Sattel gehoben. Wie auch sonst, erregte sie bei SOMMERFELD hohes Interesse mit ihren kühnen, zunächst vielfach paradoxen Folgerungen. Dies geschah insbesondere, als HERMANN MINKOWSKI ihr das elegante mathematische Gewand gegeben hatte, in welchem wir sie heute kennen. Aber freilich war MINKOWSKIs Ausdrucksweise den Physikern ungewohnt, sie fand bei ihnen wenig Verständnis. Da paßte SOMMERFELD die MINKOWSKIsche 4-dimensionale Welt mit ihren Vierer- und Sechservektoren und ihren Welttensoren der 3-dimensionalen Schreibweise für Vektoren und Tensoren soweit an, daß die Physiker sich leicht an diese Verallgemeinerung gewöhnten und als wesentliche Vereinfachung der relativistischen Rechenarbeit freudig annahmen. Die Anerkennung der speziellen Relativitätstheorie wurde dadurch erheblich beschleunigt und, was auch nicht übersehen werden sollte, das mathematische Rüstzeug der allgemeinen Relativitätstheorie, welches EINSTEIN ein knappes Jahrzehnt später brauchte, schon vorbereitet.

Der persönliche Umgang mit RÖNTGEN und die noch ungelöste Frage nach der Natur der Röntgenstrahlen wirkten mächtig auf SOMMERFELDs Phantasie. Er stand von vornherein, im Gegensatz zu WILLIAM BRAGG und anderen, auf dem Boden der Wellentheorie, freilich in der STOKES-WIECHERTschen Form, welche die Röntgenstrahlen als aus kurzen Impulsen bestehend ansahen, was später durch das DUANE-HUNTsche Gesetz über die kurzwellige Grenze des Spektrums widerlegt wurde. Immerhin sind seine Ergebnisse über die Richtungsverteilung der Bremsstrahlung und ihre unterschiedliche Härte in verschiedenen Richtungen mindestens qualitativ durch alle spätere experimentelle Forschung bestätigt worden. Sodann

hatten damals H. Haga und C. Wind, in besserer Durchführung danach B. Walther und R. W. Pohl den alten Newtonschen Versuch der Beugung am Keilspalt vom Licht auf Röntgenstrahlen übertragen. Jetzt gab Sommerfeld in Fortsetzung seiner Untersuchung über die Beugung der Röntgenstrahlen für diese Anordnung die Theorie. Die photometrische Ausmessung der Walther-Pohlschen Beugungsbilder durch P. P. Koch ermöglichte daraufhin eine Abschätzung der Impulsbreite auf $4 \cdot 10^{-9}$ cm. Das war die erste wellentheoretische Abschätzung von Röntgenwellenlängen. Sie stimmte ausreichend zu W. Wiens quantentheoretischer Angabe $7 \cdot 10^{-9}$ cm und war, wie man auf Grund der heutigen Kenntnisse sagen kann, eine für die damalige Versuchsanordnung ganz ausgezeichnete Abschätzung (1912).

Schließlich darf gerade ich nicht unerwähnt lassen, daß sich Sommerfeld als erster Gedanken über die Begründung der klassischen Kristalloptik aus der Raumgittertheorie der Kristalle machte. Wie dies und jene Wellenlängenabschätzung schließlich zur Entdeckung der Röntgenstrahlinterferenzen führte, habe ich schon anderweitig auseinandergesetzt und kann es heute übergehen. Außerdem war sein Rat für den Fortgang der Versuche von Friedrich und Knipping von großer Bedeutung, wie er ja auch die Entdeckungsarbeit, samt meiner ersten quantitativen Auswertung von Röntgendiagrammen, alsbald der Bayerischen Akademie vorlegte.

Trotz der hohen Bedeutung dieser vielseitigen Leistungen steht Sommerfeld vor uns hauptsächlich als einer der ersten Theoretiker der Spektroskopie. Sehr früh schon hatte er seine Aufgeschlossenheit für die Quantentheorie gezeigt, als er die Bremsung des Elektrons in der Antikathode der Röntgenröhre mit der Planckschen Konstanten in Verbindung zu bringen suchte. Die damalige Idee hat sich allerdings nicht bewährt. Aber so war er innerlich auf Bohrs Quantentheorie des Atombaus vorbereitet, um so mehr, als schon die ganz verschiedenartigen Atommodelle Rutherfords und J. J. Thomsons seine Aufmerksamkeit erregt hatten, wie wir Münchener Physiker aus Kolloquien und privaten Gesprächen wußten. Nun stand 1913 auf einmal eine Theorie da, welche die bislang unerklärliche Balmer-Formel für das Wasserstoffspektrum quantitativ aus wohlbekannten universellen Konstanten ableitete, unter denen das Plancksche h die entscheidende neue Rolle spielte. Da begann Sommerfelds große Zeit. Bohr hatte nur Kreisbewegungen des Elektrons um den Atomkern in Betracht gezogen und „gequantelt". Dazu genügte *eine* Quantenbedingung und *eine* Quantenzahl. Sommerfeld zog in einer großen Arbeit von 1916, deren Inhalt er aber schon 1914/15 in Vorlesungen vorgetragen hatte, auch die Kepler-Ellipsen in Betracht und mußte für sie *zwei* Quantenbedingungen und *zwei* Quantenzahlen einführen, eine für den Radiusvektor, die andere für die Richtung vom Atomkern zum Elektron. Jene Bedingungen aber knüpften an die Hamiltonsche Fassung der Newtonschen Mechanik an, an die Separierung der Hamiltonschen Differentialgleichung und die Einführung von „Phasen" für jede der Koordinaten, in denen sich die Separation durchführen ließ. Jedes Phasenintegral sollte nunmehr ein ganzes Vielfaches der Planckschen Konstanten h sein, oder von $\frac{1}{2}\,h$, wie man später erkannte. Hier tritt der Einfluß der Göttinger Zeit besonders deutlich zutage. Dies war die Geburtsstunde der spektroskopischen Systematik, welche nach Niels Bohr die Frequenzen der Spektrallinien auf Differenzen von je 2 Energietermen, jeden Term aber nach Sommerfeld auf mehrere ganze Zahlen zurückführt. Die darauf fußende Bezeichnung der Linien hat heute die alten, empirischen Benennungen wie Hauptserie, scharfe und diffuse Nebenserie ganz verdrängt und sich außer dem Röntgengebiet für alle Teile des Spektrums durchgesetzt.

Uns allen sind die Ergebnisse geläufig, die in jener großen Arbeit, wenn auch nicht in allen Einzelheiten ausgeführt, so doch in der Anlage vorhanden waren. Legt man der Berechnung der Elektronenbahnen die Newtonsche Dynamik zugrunde, so findet man für je eine Bohrsche Kreisbahn und die diskrete Schar von Ellipsenbahnen, welche bei der Quantelung dieselbe Hauptquantenzahl erhalten, dieselbe Energie. Ein Energieterm entspricht daher mehreren Bewegungsmöglichkeiten, er ist nach Schwarzschilds Benennung „entartet". Der Übergang zwischen entarteten Niveaus führt zwar trotz dieser Mannigfaltigkeit nur zu einer Spektrallinie. Aber entartete Niveaus lassen sich durch verhältnismäßig geringe Abänderungen des zentralsymmetrischen Feldes um den Atomkern „aufspalten", indem jede der zugehörigen Bahnen jetzt einen etwas veränderten Energiewert ergibt. Dazu genügt schon die Veränderung durch die anderen Elektronen der Atomhülle, welche bei höheren Atomen das „Leuchtelektron" beeinflussen. Auch äußere Eingriffe, z. B. ein elektrisches oder magnetisches Feld, führen zu Aufspaltungen der Terme und damit der Spektrallinien. Darauf gründeten 1916 P. S. Epstein und ebenso K. Schwarzschild die Theorie des Stark-Effektes beim Wasserstoffatom, Debye und Sommerfeld die des normalen Zeeman-Effektes, wobei dann zur Richtungsquantelung eine dritte Quantenzahl notwendig war. Rechnete man aber mit der relativistischen Dynamik, so unterschieden sich von vornherein alle Bahnen mit gleicher Hauptquantenzahl um gewisse, im optischen Spektralbereich allerdings kleine Energiebeträge. Die Spektrallinien erhielten so eine Feinstruktur. Die dafür kennzeichnende, universelle Feinstrukturkonstante berechnete Sommerfeld aus der Elementarladung, der Lichtgeschwindigkeit und der Planckschen Konstanten zu annähernd 1:137, was die Erfahrung auch bestätigt hat, nur daß man sich heute noch nicht ganz klar ist über die Genauigkeit dieses Wertes. Waren diese relativistischen Aufspaltungen für Wasserstoff und auch für das ionisierte Helium geringfügig, so wurden sie ganz wesentlich im Röntgengebiete, für dessen Spektroskopie Sommerfeld führend war, sobald die zugehörigen Messungen mittels der Kristalle die Durchforschung ermöglichten.

Aber die auf der klassischen Mechanik und den Phasenintegralen, unter Hinzunahme der auf diese bezogenen Quantenbedingungen, beruhende Atomtheorie kam bald an die Grenzen ihrer Anwendbarkeit. Sie versagte in dem schon beim Heliumatom mit seinen 2 Elektronen vorliegenden Fall, daß die Bewegung nicht mehr periodisch ist. War bis dahin Sommerfelds ganze Einstellung zur Physik eine mathematisch-deduzierende, so sah er sich nun zu einer grundsätzlichen Änderung gezwungen, und es zeigte sich

eine neue Seite seiner Begabung, die Erratung mathematischer Beziehungen aus Erfahrungsdaten. Er begann, Spektralterme nach Quantenzahlen zu klassifizieren, um dadurch den Spektralbeobachtungen gerecht zu werden. Dies zeigt sich so recht an seinem grundlegenden Werk „Atombau und Spektrallinien", das bald zu einer Art Bibel für die Spektroskopiker wurde. An den Wandlungen, die es in seinen 6 Auflagen von 1919 bis 1946 allmählich durchgemacht hat, läßt sich die Entwicklung unserer Vorstellungen während dreier Jahrzehnte in allen Einzelheiten verfolgen. Wir heben z. B. hervor den „spektroskopischen Verschiebungssatz" von SOMMERFELD und KOSSEL. Er besagt: „Das erste Funkenspektrum jedes Elementes ist in seiner Struktur gleich dem Bogenspektrum der im periodischen System vorhergehenden Elemente. Entsprechend ist sein Funkenspektrum zweiter, dritter Ordnung usw. gleich dem Bogenspektrum des im periodischen System ihm um zwei, drei usw. Schritte vorangehenden." Nur bei denjenigen Elementen, bei denen innere Elektronenschalen erst in Ausbildung sind, versagt dieser Satz aus leicht ersichtlichen Gründen. Der anomale ZEEMAN-Effekt führte SOMMERFELD zur ganzzahligen Darstellung der Terme im Magnetfeld und dabei zum magnetooptischen Zerlegungssatz für die RUNGEschen Nenner, bald darauf zur Einführung der „inneren Quantenzahl" (1920). Eine Theorie dieses Effektes hatte früher schon WOLDEMAR VOIGT gegeben; jedoch stand diese ganz isoliert da. SOMMERFELD gelang ihre Einfügung in das System der Quantentheorie. Er erkannte die Beziehungen zwischen ZEEMAN-Effekt und Paramagnetismus. Besonders wichtig waren seine Beiträge zur Theorie der Intensität der Spektrallinien. Zusammen mit seinen Schülern HEISENBERG und HÖNL gelang es SOMMERFELD, für die Intensität von Multiplettlinien die richtigen Formeln zu erraten.

Eine Theorie im eigentlichen Sinn entstand erst wieder, als man mit DE BROGLIE, HEISENBERG und SCHRÖDINGER von allen mechanischen Vorstellungen absah und sie, sei es durch HEISENBERGs Matrizenkalkül, sei es durch die Idee der Materiewellen, ersetzte. Welch großer Fortschritt das war, brauche ich nicht auseinanderzusetzen, auch nicht, welche schweren prinzipiellen Fragen nach Determinismus und Indeterminismus in der Physik sich daran geknüpft haben. Zu ihnen hat SOMMERFELD, gemäß seiner ganzen Veranlagung, niemals Stellung genommen. Aber er akzeptierte sogleich die Wellenmechanik und das PAULIsche Ausschlußprinzip und wandte sie höchst erfolgreich auf die Theorie der metallischen Leitfähigkeit an, die ihn schon während seiner Göttinger Zeit früher in der Fassung seines Freundes P. DRUDE tief beeindruckt hatte. Hier ergaben sich im WIEDEMANN-FRANZschen Gesetz und in der Theorie der thermoelektrichen Erscheinungen hervorstechende Erfolge, deren großartige Zusammenfassung der berühmte Handbuch-Artikel von BETHE und SOMMERFELD enthält.

Damit sind wir nun bei einer neuen Seite der Tätigkeit SOMMERFELDs angelangt. Die wissenschaftliche Tätigkeit eines theoretischen Physikers erschöpft sich keineswegs in den kürzeren oder längeren Originalarbeiten, die in wissenschaftlichen Zeitschriften erscheinen. Eine wesentliche Pflicht für ihn ist die Abfassung größerer Werke, welche ganze Kapitel seiner Wissenschaft im Zusammenhang darstellen. Erst in solchen kann er der Mit- und Nachwelt seine Auffassungen über die innere Struktur, die Sicherheit und die Reichweite einer Theorie vermitteln. Wir wollen bei SOMMERFELD die Vorlesungen über theoretische Physik, wie sie in den letzten Jahren gedruckt erschienen sind, nur kurz streifen. In der Hauptsache entsprechen sie seinen Kursusvorlesungen an der Universität München, wie er sie durch 3 Jahrzehnte gehalten hat. So sehr sie auch in Einzelheiten das ihm eigentümliche Gepräge zeigen, so sind sie doch keineswegs so charakteristisch wie sein schon erwähntes Werk „Atombau und Spektrallinien", welches er um 1930 durch einen wellenmechanischen Ergänzungsband vervollständigte. In diesem zumal, der die SCHRÖDINGER-Gleichung zugrunde legt, hatte SOMMERFELD die Freude, die Methoden der Integration partieller Differentialgleichungen, die ihm von Jugend auf lieb gewesen waren, auf wichtigste physikalische Probleme anzuwenden. Diese beiden Bände spiegeln das Wesen des Wissenschaftlers SOMMERFELD wieder wie nichts anderes. Sie werden trotz des rapiden Fortschrittes der Physik auf ihrem Gebiete noch lange ein unersetzlicher Wegweiser sein für jeden, der sich ihm widmen will, und auch für Reifere eine Fundgrube wertvollster Erkenntnisse. Selbst wenn unsere Zeiten lange vorüber sind, werden sie unschätzbaren historischen Wert haben als Markstein an einem kritischen Punkt in der Geschichte der Physik und als Erinnerung an den Physiker, der beim Durchbruch zur quantentheoretischen Spektroskopie nächst BOHR in erster Linie gestanden hat.

So groß aber auch SOMMERFELDs literarisches Wirken war, man darf daneben sein Wirken als akademischer Lehrer nicht übersehen. Erst dies gab seinem Einfluß die Breite, die dahin geführt hat, daß so viele der jungen und der heute schon nicht mehr jungen Generation zu ihm als ihrem Lehrer aufsehen. SOMMERFELD gehörte zu dem Typus von Gelehrten, welcher die Zusammenarbeit mit anderen braucht. Indem er lehrte, kamen ihm Ideen; ja manchmal schuf er Neues, während er in der Vorlesung an der Tafel stand. Darum wirkte er auch in seinen Vorlesungen so anregend, ja begeisternd, daß es vorkommen konnte, daß ein promovierter Zoologe, der zufällig einmal in ein Kolleg bei ihm geriet, daraufhin zur theoretischen Physik umschwenkte. Neben dem weiten Kreis seiner Hörer stand aber der engere seiner eigentlichen Schüler, die bei ihm, vor oder auch nach der Promotion, das Forschen lernten. Er suchte sie sich meist mit großem Verständnis aus. Auch unter ihnen waren solche, die ursprünglich ganz andere Berufsabsichten gehabt hatten. Wir alle kennen die Fachgenossen, die aus SOMMERFELDs Schule stammen und jetzt selbst Großes geleistet haben. Und er kümmerte sich um alles, was auf ihre wissenschaftliche Entwicklung fördernd oder hindernd Einfluß haben konnte. Einem der Bekanntesten unter ihnen, der damals ein großer Schachspieler war, riet er in so ernstem Tone von zu weitgehender Hingabe an das königliche Spiel ab, daß dieser es mehr oder minder aufgab. Denn SOMMERFELD war der sehr zutreffenden Meinung, daß sich selbst das beste Gehirn nicht solch anstrengenden Denksport neben ernster wissenschaftlicher Arbeit leisten könne.

Es scheint mir interessant, einmal die drei Deutschen zu vergleichen, denen die Quantentheorie das meiste

verdankt, PLANCK, EINSTEIN und SOMMERFELD. PLANCK, 10 Jahre älter als SOMMERFELD, war im wesentlichen Autodidakt; er hatte sich an den Druckschriften von RUDOLF CLAUSIUS gebildet, mit diesem persönlich aber niemals Kontakt gehabt. Selbst HELMHOLTZ, der ihn sehr schätzte und förderte, hat ihn innerlich nicht entscheidend beeinflußt. Auch später hat er eine wissenschaftliche, engere Zusammenarbeit niemals gefunden, nicht einmal gesucht. Was er geleistet hat, verdankt er der tiefen Versenkung in sich selbst. In seinen Vorlesungen war der Stoff, über den er sprach, sozusagen Selbstzweck. Der Hörer konnte unendlich viel dabei lernen, ja sich begeistern. Aber den meisten blieb doch die Theorie ein fernes Ideal, ähnlich den Hochgipfeln einer von der Weite geschauten Alpenkette. Den weiten, beschwerlichen Weg dorthin zu beschreiten, haben sich nicht viele unter ihnen entschlossen.

Für EINSTEIN, der rund 10 Jahre jünger als SOMMERFELD ist, gilt im Grunde ähnliches; zudem ließ sich seine übersprudelnde Genialität schlechterdings nicht lehren, ja sie wurde gelegentlich zur Gefahr für Schüler, die sie nachzuahmen sich vermaßen.

SOMMERFELD hingegen hatte von vornherein viel engeren Kontakt mit seiner Umgebung. Er war in Göttingen durch eine *Schule* gegangen, und eine *Schule* zu begründen, war ihm ein wesentliches Anliegen. Seine Vorlesungen waren weit mehr an seine Hörer persönlich gerichtet und daher geeigneter, solche zur weiteren Beschäftigung mit Wissenschaft anzulocken; man sah die Alpen bei ihm mehr aus der Nähe, bekam infolgedessen vielleicht nicht die große Übersicht über den Zusammenhang der Gebirgszüge, aber man konnte bei ihm das Bergsteigen lernen. PLANCKs und EINSTEINs Denken richtet sich ausgesprochen auf die grundlegenden Prinzipien der Physik; bei SOMMERFELD spielt das Modell, oder wenigstens das Beispiel in Vorlesungen und Schriften eine größere Rolle. Darum war er es, der eine Schule der theoretischen Physik ins Leben rief, und zwar eine, wie sie (mindestens auf deutschem Boden) noch nie dagewesen war. Wir sehen in PLANCK, EINSTEIN und SOMMERFELD Vertreter zweier auch sonst vorkommenden, ganz verschiedenen Gelehrtentypen vor uns. Und doch ist gerade durch ihr Zusammenwirken ein wesentlicher Teil der heutigen Quantentheorie entstanden. PLANCK hat einmal das Verhältnis zwischen SOMMERFELD und sich mit dem Verslein gekennzeichnet:

Was ich gepflückt, was Du gepflückt,
Das wollen wir verbinden,
Und da sich Eins zum Anderen schickt,
Den schönsten Kranz draus winden.

Blumen aus EINSTEINs Garten kamen dabei selbstverständlich auch zur Verwendung.

Wenn ein 82jähriger abberufen wird, so wird die Trauer um ihn überwogen von dem Dank, daß man ihn so lange behalten konnte. Handelt es sich um einen großen, bis zum letzten Tage forschenden Gelehrten, so bedeutet sein Ausscheiden auf jeden Fall einen Einschnitt in dem Fortgang der Wissenschaft. Aber SOMMERFELDs Werk wird fortgesetzt von Allen, die durch seine Lehrtätigkeit und seine Werke zu Physikern geworden sind, und es wird ihm bleiben der Titel, den ein Freund ihm schon vor langen Jahren einmal beigelegt hat, der Titel, der einst (in noch weiterem Sinn) auf Erasmus von Rotterdam geprägt worden ist: Praeceptor Germaniae.

Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische und Elektrochemie, Berlin-Dahlem.

Eingegangen am 30. Juni 1951.

Ein Kugelblitz auf einer Moment-Aufnahme?

Von ERICH KUHN, Ludwigshafen a. Rh.

Vorbemerkung von R. W. POHL, Göttingen.

Herr Studienrat O. FREY, Ludwigshafen, der vor mehreren Jahren in meinem Institut gearbeitet hat, teilte mir vor einiger Zeit mit, daß einer seiner Schüler, Herr DIETER KUHN, eine photographische Aufnahme gemacht habe, die er für die Photographie eines Kugelblitzes halte. Aus näheren Einzelheiten, die mir der Vater des Schülers bereitwillig mitteilte, habe ich die Überzeugung gewonnen, daß Herrn D. KUHN mit großer Wahrscheinlichkeit wirklich die Aufnahme eines Kugelblitzes gelungen ist. Ich habe darum eine Veröffentlichung der Aufnahme in den Naturwissenschaften vorgeschlagen, denn diese Erscheinung ist so selten[1]), daß meines Wissens bis jetzt eine einzige Photographie[2]) in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlicht worden ist. Über die Entstehung der Aufnahme schreibt der Vater, Herr Dr. Ing. E. KUHN:

Bei einem anscheinend von allen Seiten aufziehenden schweren abendlichen Gewitter des vergangenen Herbstes wollte mein siebzehnjähriger Sohn Blitze photographieren und baute zu diesem Zweck seinen Apparat am Fenster eines verdunkelten Zimmers behelfsmäßig auf, da ihm damals ein Stativ noch fehlte. Er wollte dann bei geöffnetem Verschluß abwarten, bis in seiner bzw. des Apparates Blickrichtung ein „ständiger Blitz" niederging. Ich selbst saß und las bei geschlossenen Rolläden in einem erleuchteten Nebenzimmer. Da rief mein Sohn nach Ablauf der „Schreckssekunde": „Oh, ein Kugelblitz, das war sicher ein Kugelblitz." Während der vorangehenden wiederholten Belichtung der Szene durch nicht im Gesichtsfeld des Apparates niedergehende Blitze und beim Schließen des Verschlusses hat leider der Apparat etwas gewackelt, was mir übrigens mein Sohn schon gleich nach der Aufnahme sagte. Als ich selbst zum Fenster kam, war die Erscheinung schon vorüber. Einen auffallend scharfen Knall oder sonstige besondere akustische Wahrnehmungen sind mir nicht aufgefallen. Selbstverständlich muß man bei der kritischen Bewertung solcher Aufnahmen außerordentlich vorsichtig sein, und ich möchte in diesem Zusammenhang folgende Punkte erwähnen:

1. Das Filmnegativ ist in keiner Weise bearbeitet.

2. In Blickrichtung des Fensters und des Apparates sind keine Häuser, Lampen oder sonstige Einrichtungen, die durch irgendwelche Zufälle eine Lichterscheinung hätten hervorrufen können. Der weitere Hintergrund ist, wie man auf der Aufnahme sieht,

[1]) WOLF, F.: Naturwiss. 31, 215 (1943).
[2]) JENSEN, J. C.: Physics 4, 372 (1933). — Nature [London] 133, 95 (1934).

durch Bäume und Strauchwerk abgeschlossen und birgt auch keinerlei menschliche Einrichtungen.

Fig. 1. Aufnahme des Blitzes.

Fig. 2. Vergrößerter Bildausschnitt.

3. Bei Tage habe ich Aufnahme und Ausblick nochmals miteinander verglichen, um vorstehender Behauptung wirklich sicher zu sein.

4. Den Abstand zwischen Objektiv und waldartigem Hintergrund schätze ich auf etwa 200 m. Der Apparat war bei offener Blende 1:4,5 auf unendlich eingestellt. Die Lichtempfindlichkeit des Filmes betrug 17/10 Din.

Über die Lichterscheinung selbst sagt mein Sohn jetzt folgendes:

„Ich hatte die Hoffnung auf ‚Einfangen eines Blitzes' schon aufgegeben und wollte gerade den Apparat abbauen, als eine feurige Kugel von anscheinend etwa 50 cm Durchmesser plötzlich in meinem Blickfeld etwa mit der Geschwindigkeit eines Kinderfallschirms ziemlich senkrecht niederging und lautlos ähnlich einem Feuerwerkskörper einige Meter über dem Boden auseinanderflog. Als ich mich von meinem ersten Schrecken erholt hatte, öffnete ich den Verschluß erneut und muß so wohl durch Zufall noch das Glück gehabt haben, den letzten Augenblick der Lichterscheinung festzuhalten. Für mich bestand nicht der geringste Zweifel, daß ich einen Kugelblitz gesehen und wahrscheinlich auch ‚eingefangen' hatte."

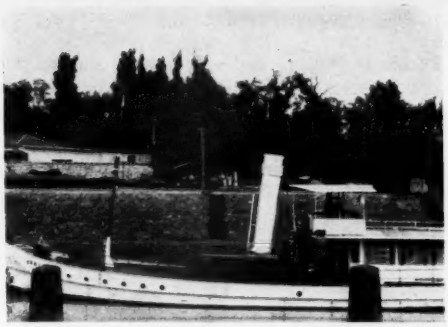


Fig. 3. Ansicht des Geländes bei Tage.

Ludwigshafen a. Rh., Mundenheimer Straße 52.

Eingegangen am 15. September 1951.

Hundert Jahre Fizeauscher Mitführungsversuch.

Von E. BUCHWALD, Jena.

Als FIZEAU 77jährig im Jahre 1896 starb, rühmte CORNU in einer Sitzung der Pariser Akademie seine Bescheidenheit und Zurückhaltung, die antike Geradheit und Festigkeit seines Charakters und erinnerte an ein Wort ARAGOs, das er vor Jahrzehnten über den Jugendlichen ausgesprochen hatte: „FIZEAU wird uns FRESNEL wiederschenken." Und er rühmt die Kühnheit und die Einfachheit der Hilfsmittel, mit denen FIZEAU erstmalig die Geschwindigkeit des Lichtes auf einer Strecke von wenigen Kilometern gemessen hat und auf einigen Dezimetern die Mitführung des Lichtes durch ein bewegtes Medium.

Dieses letzteren Versuchs 100jähriges Jubiläum feiern wir in diesen Tagen. Der Bericht über ihn ist am 29. 9. 1851 der Pariser Akademie vorgelegt worden — „Commissaires MM. ARAGO, POUILLET, BABINET" — und erwächst aus der folgenden Problemstellung der elastischen Lichttheorie: Ist der Äther im Innern eines durchsichtigen Körpers so eng an die Körperpartikeln gebunden, daß er deren Bewegung vollkommen mitmacht? Diese Annahme geht unter der Bezeichnung der „STOKESschen Hypothese" (1845). Oder ist er so frei, daß er sie gar nicht mitmacht? Oder macht nur ein gebundener Anteil die Bewegung mit, der Rest aber nicht? Dieses dritte ist die im September 1818 von FRESNEL in einem Brief an ARAGO ausgesprochene Vermutung, damals im Zusammenhang mit dem Aberrationsproblem auftauchend, das wir hier außer Acht lassen, und mit der Lichtbrechung in einem an der Erdbewegung teilhabenden Prisma. Sie stellt sich quantitativ so dar. Der freie Äther habe die Dichte D, der Äther im Körper die Dichte D', und schon der physikalische Anfänger lernt, meist in der Akustik, daß sich die Quadrate der Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Wellen in elastischen Medien (bei gleichem Elastizitätsmodul) umgekehrt wie die Dichten verhalten:

$$\frac{c^2}{c'^2} = \frac{D'}{D},$$

wo c und c' die Lichtgeschwindigkeiten im Vakuum und im Medium sind.

Hieraus folgt

$$\frac{D'-D}{D'} = \frac{c^2-c'^2}{c^2}$$

und

$$D'-D = D'\,\frac{c^2-c'^2}{c^2}$$

als Überschuß der Ätherdichte im Körper über die im Vakuum. Gerade dieser Überschuß, und nur dieser, so nimmt FRESNEL intuitiv richtig an, macht die Körpergeschwindigkeit v mit, der übrige Äther im Körper nicht. Decken sich anfangs ein punktierter feststehender Ätherwürfel von 1 cm³ Volumen und

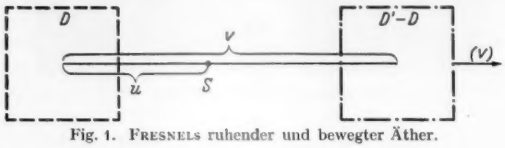


Fig. 1. FRESNELs ruhender und bewegter Äther.

der Dichte D (Fig. 1) und ein mit v fortschreitender strichpunktierter der Dichte $D'-D$, so hat sich nach einer Sekunde der Zustand der Fig. 1 hergestellt mit S als Schwerpunkt und u als Schwerpunktsgeschwindigkeit, und es gilt nach der Schwerpunktsformel

$$\frac{u}{v-u} = \frac{D'-D}{D}; \qquad \frac{u}{v} = \frac{D'-D}{D'},$$

nach dem obigen

$$= \frac{c^2-c'^2}{c^2}$$

oder

$$u = v\,\frac{c^2-c'^2}{c^2}.$$

Als weitere naheliegende Hypothese fügt FRESNEL hinzu, daß sich im bewegten Medium diese Schwerpunktsgeschwindigkeit u der Lichtgeschwindigkeit c',

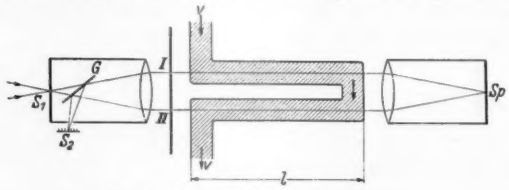


Fig. 2. Versuchsanordnung von FIZEAU.

die für das ruhende Medium gilt, überlagert, so daß die gesamte Lichtgeschwindigkeit im bewegten Medium ist (wenn sich die Wellen in der Bewegungsrichtung des Mediums fortpflanzen):

$$c'+u = c'+v\,\frac{c^2-c'^2}{c^2} = c'+v\left(1-\frac{1}{n^2}\right) \qquad (1)$$

mit n als Brechzahl des Mediums. Das ist die erste von vier ähnlichen und doch typisch verschiedenen Formeln unseres Gebiets.

$$\left(1-\frac{1}{n^2}\right) = \varepsilon,$$

den Bruchteil der Körpergeschwindigkeit v angebend, der sich zur Geschwindigkeit im ruhenden Medium c', bei der Bewegung addiert, heißt der „FRESNELsche *Mitführungskoeffizient*".

Welche Anforderungen an das Experiment gestellt werden, dieses ε nachzuweisen, zeigt eine Überschlagsrechnung für Wasser. Hier ist rund $n = \frac{4}{3}$, also $c' = c/\frac{4}{3} = 225\,000$ km/sec. Hinzu aber kommt wegen $\varepsilon = 1-(\frac{3}{4})^2 = \frac{7}{16} = 0{,}44$ bei einem v von einigen m/sec, sagen wir von 10 m/sec, eine Zusatzgeschwindigkeit von etwa 4,4 m/sec. Sie verhält sich zu c' wie 1 zu 50 Mill. Diese Genauigkeit muß die Versuchsanordnung liefern. Es ist auch lehrreich zu überlegen, wie groß der Unterschied der Zeiten T_1 und T_2 ist, die zwei Strahlen zum Durchlaufen des Wasserweges L brauchen, wenn einer mit, der andere entgegengesetzt der Wasserbewegung verläuft. Es ist

$$T_1 = \frac{L}{c'-\varepsilon v}, \qquad T_2 = \frac{L}{c'+\varepsilon v},$$

also

$$T_1 - T_2 = L\left(\frac{1}{c'-\varepsilon v} - \frac{1}{c'+\varepsilon v}\right) \approx L\,\frac{2\varepsilon v}{c'^2};$$

das ist bei $L = 300$ cm, $v = 700$ cm sec^{-1}, $\varepsilon = 0{,}44$ und $c' = 2{,}25 \cdot 10^{10}$ cm sec^{-1}:

$$T_1 - T_2 = \frac{300 \cdot 2 \cdot 0{,}44 \cdot 1000}{5{,}06 \cdot 10^{20}} = 5{,}2 \cdot 10^{-16}\,\text{sec},$$

d.h. eine zweitausendbillionstel Sekunde.

In seiner Versuchsanordnung verbindet FIZEAU ARAGO-FRESNELsche Erfahrungen, die sie an einem Doppelröhrenapparat bei der Beobachtung des Brechzahlunterschiedes von feuchter und trockener Luft gewonnen haben, mit eigenen, die er zwei Jahre vorher mit einem Doppelfernrohr gemacht hatte, als er auf dem 8366 m langen Wege zwischen Suresne und Montmartre die Lichtgeschwindigkeit bestimmt hatte. FIZEAU hat keine Abbildung seines Apparates gegeben. Er läßt sich etwa folgendermaßen skizzieren (Fig. 2). Aus einfallendem, in einem Spalte S_1 konzentriertem Sonnenlicht wird durch den Spalt I ein Lichtbündel ausgeblendet, das durch den oberen Teil der wasserdurchströmten Doppelröhre nach rechts geht, an einem Spiegel Sp reflektiert wird, dann die untere Röhre nach links durchläuft, den Spalt II passiert und durch die Glasplatte G nach S_2 geworfen wird. Genau den umgekehrten Weg macht das anfänglich durch II ausgeblendete Bündel. Es geht im unteren Rohre nach rechts, nach Spiegelung an Sp im oberen Rohre nach links, tritt durch I aus und landet gleichfalls bei S_2. Hier bildet sich eine Interferenzerscheinung aus, mit einem hellen Streifen in der Mittelrichtung der Bündel, wenn das Wasser ruht; denn dann haben beide Bündel keinen Gangunterschied. Ihre Wege sind ja dieselben, werden nur umgekehrt durchlaufen. Man kann ein brennendes Streichholz unter die Luftstrecke halten, und die Streifen ändern sich nicht. Strömt aber das Wasser wie angedeutet, so läuft das erste Bündel in beiden Röhren *in* der Strömungsrichtung, das zweite Bündel beide Male ihr entgegen, und wenn der Äther durch die Wasserbewegung beeinflußt wird, gewinnen die Bündel einen Gangunterschied, und die Streifen verschieben sich. Wie die beobachtete Streifenverschiebung — in Bruchteilen eines Streifenabstands gemessen heiße sie Δ — mit dem gesuchten Mitführungskoeffizienten ε zusammenhängt, folgt leicht aus der eben berechneten Zeitendifferenz. Wäre sie gleich einer Schwingungsdauer, $= 1/\nu$ sec, so wäre $\Delta = 1$. Wäre sie 1 sec, so wäre Δ ν-mal so groß, $\Delta = \nu$. Da sie $T_1 - T_2$ ist, ist $\Delta = (T_1 - T_2) \cdot \nu$, mit L gleich zweimal der Rohrlänge l und $c' = c/n$:

$$\Delta = \frac{4\,l\,\varepsilon\,v\,n^2}{c^2}\,\nu = \frac{4\,l\,\varepsilon\,v\,n^2}{c\,\lambda}.$$

Das ist der gewünschte Zusammenhang. Diese Einfachverschiebung würde doppelt so groß, wenn man das Interferenzbild bei *einer* Strömungsrichtung mit dem bei der entgegengesetzten vergliche.

FIZEAUs Röhren sind etwa $1^1/_2$ m lang, das Wasser wird mit Preßluft bis 2 Atm. Überdruck getrieben, der Erfolg ist eindeutig. Schon bei $v = 2$ m/sec macht sich eine Streifenverschiebung bemerkbar, bei der Maximalgeschwindigkeit von 7,059 m/sec beträgt die Einfachverschiebung, in Streifenbreiten gemessen, 0,23016; dies ist ein Mittelwert aus 19 Ablesungen, die von 0,167 bis 0,307 schwanken. Die Streifenverschiebung bei Strömungsumkehr beträgt das doppelte, 0,46 Streifenbreiten.

Die Hypothese eines ruhenden Äthers ist damit widerlegt, die STOKESsche eines vollkommen mitgeführten ergäbe 0,92 Streifenbreiten und ist gleichfalls im Widerspruche mit dem Versuch. Nach FRESNEL berechnet aber ergäben sich 0,404 Streifenbreiten. Das ist in befriedigendem Einklang mit dem experimentellen Wert, und die Übereinstimmung wird noch besser, wenn man sich Gedanken über die Geschwindigkeitsverteilung des Wassers längs des Röhrenquerschnitts macht. Denn das in die Formel eingesetzte v ist ein Mittelwert, der sich aus den Durchflußmengen bestimmt, das Licht aber läuft längs der Rohrachsen und findet hier eine Maximalgeschwindigkeit vor, die FIZEAU einigermaßen unsicher auf 1,11 bis 1,23mal größer schätzt. Vergrößertes v aber erhöht den berechneten Wert 0,404 und nähert ihn dem experimentellen. Nimmt man statt Wasser Luft — der man leicht eine Geschwindigkeit von 25 m/sec geben kann — so ergeben Formel wie Beobachtung keine merkliche Streifenverschiebung.

FIZEAU schließt seine erste Veröffentlichung und eine ausführlichere 8 Jahre später mit dem gleichen Absatz: „Der Erfolg dieses Versuchs muß, so scheint es mir, zur Annahme der FRESNELschen Hypothese führen oder wenigstens des Gesetzes, das er aufgestellt hat, um die Änderung der Lichtgeschwindigkeit mit der Bewegung der Medien auszudrücken. Denn wenn auch dieses Gesetz, nunmehr bewahrheitet, sehr stark zugunsten der Hypothese spricht, so ist es doch nur eine Folgerung, und vielleicht erscheint der Gedanke FRESNELs so außergewöhnlich und in mancher Hinsicht so schwer annehmbar, daß man noch andere Nachprüfungen und eine vertiefte Untersuchung seitens der Mathematiker verlangen wird, ehe man ihn als Ausdruck der Wirklichkeit annimmt." Das Mitführungsproblem ist nun auch wirklich durch das ganze Jahrhundert hindurch im GOETHEschen Sinne „gesteigert" worden, von experimenteller und von theoretischer Seite in reizvollem Wechselspiel. Deshalb und weil man die FIZEAUsche Pionierleistung nicht hoch genug bewerten kann, begehen wir heute diese Zentenarfeier.

1886, 35 Jahre später, wiederholen MICHELSON und MORLEY den Versuch mit dem MICHELSONschen Interferometer „in einer der vielen Formen", sagt ZEEMAN einmal, „in denen sich dieser wunderbare Apparat wie ein Proteus darbieten kann". Die Versuchsanordnung ist nach Fig. 3 wohl ohne weiteres verständlich (Lichtwege *LABCDEAF* und *LAEDCBAF*). Als Verbesserungen gegen FIZEAU werden unter anderem angegeben: FIZEAU mußte rasch beobachten, weil die Maximalgeschwindigkeit jeweils nur kurze Zeit aufrecht zu erhalten war; jetzt kommt das Wasser aus einem großen Tank, 23 m über der Apparatur, und die gleichmäßige Durchströmung dauert 3 min. FIZEAUs enge Spalte I und II (Fig. 2) bedingten geringe Lichtintensität; jetzt wirkt eine ausgedehnte Lichtquelle. FIZEAUs nur geschätzter Wert des Verhältnisses von Maximal- zu mittlerer Strömungsgeschwindigkeit wird durch Geschwindigkeitsmessung der einzelnen Stromfäden zu 1,165 bestimmt. Die Rohrlängen betrugen bis zu rund 6 m, v geht bis fast 12 m/sec. Umgerechnet auf 10 m Rohrlänge und $v = 1$ m/sec ergeben alle Versuchsserien als gemeinsamen Mittelwert der Streifenverschiebung $0{,}434 \pm 0{,}02$ gegen den theoretischen Wert 0,437, wenn $n = 1{,}334$ des gelben Lichts gesetzt wird. Also wiederum Bestätigung der FRESNELschen Formel mit einer gegen FIZEAU auf mehr als das Zehnfache gesteigerten Genauigkeit: bei FIZEAU 0,404 gegen 0,46, bei MICHELSON und MORLEY 0,434 gegen 0,437, reichlich 10% gegen knapp 1%.

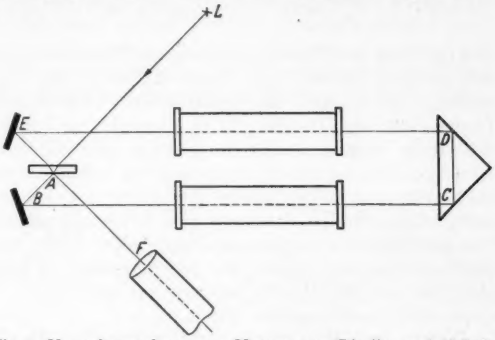


Fig. 3. Versuchsanordnung von MICHELSON. (Die Zu- und Abflußwege des Wassers sind nicht eingezeichnet.)

War es nun notwendig, daß ZEEMAN und Mitarbeiter von 1914 ab in einer Gruppe von 11 Arbeiten, die man am besten in den Archives Néerlandaises von 1927 nachliest, den Versuch noch einmal aufnahmen und weiterbildeten? Ja, denn inzwischen war die Theorie weitergegangen. Die Elektronentheorie war begründet worden; 1895 war in Leiden LORENTZs „Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern" erschienen. Und erschienen war 1905 die Relativitätstheorie, aus der schon 1907 LAUE in einer kurzen Annalennotiz den Mitführungskoeffizienten in Übereinstimmung mit LORENTZ abgeleitet hatte. Wir entwickeln erst die LORENTZsche Formel, indem wir wenigstens im Hauptgliede von $\frac{c}{n} + v\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ [Gl. (1)], nicht in dem mit v behafteten Zusatzgliede, die Größe n durch ihren im bewegten Medium gültigen Wert ersetzen: $n + \frac{dn}{d\lambda}\Delta\lambda$, wo $\Delta\lambda$ gemäß dem elementaren Ausdrucke des DOPPLER-Effekts bestimmt ist: $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c/n}$, wenn das Licht *in* der Strömungsrichtung geht. Durch Einführung dieses $\Delta\lambda$ haben wir also n zu ersetzen durch

$$n + \frac{dn}{d\lambda} \cdot \lambda \cdot \frac{v}{c/n} = n\left(1 + \lambda \frac{dn}{d\lambda} \cdot \frac{v}{c}\right),$$

und damit wird das erste Glied, das bisher c/n hieß,

$$\frac{c}{n\left(1 + \lambda \frac{dn}{d\lambda} \cdot \frac{v}{c}\right)} = \frac{c}{n}\left(1 - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \cdot \frac{v}{c}\right) = \frac{c}{n} - \frac{\lambda}{n}\frac{dn}{d\lambda} v,$$

und die gesamte Lichtgeschwindigkeit im Medium wird

$$\frac{c}{n} + v\left(1 - \frac{1}{n^2} - \frac{\lambda}{n}\frac{dn}{d\lambda}\right). \tag{2}$$

Sowohl die FRESNELsche Formel (1) als diese LORENTZsche Formel (2) sind ohne die Veranschaulichungen der Elektronentheorie aus der Relativitätstheorie herzuleiten. Dort lautet das sog. „Additionstheorem der Geschwindigkeiten": die Geschwindigkeit v des bewegten Systems und die Lichtgeschwindigkeit c' in ihm addieren sich für uns ruhende Beobachter nicht einfach zu $v + c'$, sondern zu

$$(v + c')\Big/\left(1 + \frac{vc'}{c^2}\right).$$

Dieser Ausdruck läßt sich durch eine einfache Gleichungsfolge in den FRESNELschen überführen. Er ist gleich

$$(v + c')\left(1 - \frac{vc'}{c^2}\right) \approx v + c' - v\frac{c'^2}{c^2} = c' + v\left(1 - \frac{1}{n^2}\right),$$

und fügt man die DOPPLER-Überlegung hinzu, so ergibt sich auch die LORENTZsche Form. Dabei ist die Vorstellung elektronisch und relativistisch verschieden. In der Elektronentheorie gibt es einen absolut ruhenden Äther, und was mitgeführt wird, sind die mitschwingungsfähigen, in ihn eingelagerten Gebilde, eben die Elektronen. In der Relativitätstheorie aber ist der Äther verschwunden, das Licht wird mit seiner ganzen Geschwindigkeit $c' = c/n$ mitgeführt, aber nach dem Additionstheorem erleben wir im ruhenden System nicht die volle Mitführung, sondern nur den FRESNELschen oder LORENTZschen Anteil.

FIZEAU und MICHELSON-MORLEY konnten, da sie mit weißem Lichte arbeiteten, das abschließende Glied in (2), das Dispersionsglied, nicht nachweisen. Für D-Licht ergäbe die neue Formel nicht 0,437 wie die alte, an die MICHELSON-MORLEY mit ihrem Versuchsergebnis $0{,}434 \pm 0{,}02$ so schön herankommen, sondern das erheblich höhere 0,451. ε und damit die Streifenverschiebung steigt, denn das neue Glied ist wegen des negativen $dn/d\lambda$ positiv und *erhöht* das bisherige ε. Die Übereinstimmung von Theorie und Versuch ist damit schlechter geworden, und hier setzt ZEEMAN mit abermals verbesserten Hilfsmitteln ein. Er benutzt zwar wesentlich die MICHELSON-Anordnung, aber die Länge seiner bewegten Wassersäule wird genauer bestimmt, weil er sie aus zwei etwa unter einem rechten Winkel zusammenstoßenden Zuflußrohren speist; deren Schnittpunkt legt den Säulenbeginn auf wenige Millimeter fest, und entsprechend bestimmen zwei divergente Abflußrohre das Säulenende. Er bemüht sich weitläufig um einen genaueren Zahlenwert des Verhältnisses vom maximalen zum mittleren v, er *photographiert* die Streifen und vor allem: er wendet monochromatisches Licht an. Der Erfolg ist dank seiner Experimentierkunst schlagend und für diesen Versuch endgültig, wie die kleine Tabelle 1 zeigt, die für drei ausgewählte Wellenlängen erst die theoretischen, dann die experimentellen Verschiebungen Δ zeigt und schließlich die theoretischen und den experimentellen Mitführungskoeffizienten ε.

Tabelle 1.

λ	Δ_{Fresnel}	Δ_{Lorentz}	Δ_{exp}	$\varepsilon_{\text{Fresnel}}$	$\varepsilon_{\text{Lorentz}}$	ε_{exp}
4500	0,786	0,825	$0{,}826 \pm 0{,}007$	0,443	0,464	0,465
5461	0,637	0,660	$0{,}656 \pm 0{,}005$	0,439	0,454	0,451
6870	0,500	0,513	$0{,}511 \pm 0{,}007$	0,435	0,447	0,445

ZEEMAN und die Seinen (besonders Frl. SNETHLAGE) sind noch weiter gegangen. Sie haben auch in bewegten *festen* Körpern, in Quarz und besser in Flintglas, den Mitführungskoeffizienten gemessen. Von den beiden durchlaufenen Rohren FIZEAUs (Fig. 2) wird das obere zu Luft, das untere zu einem hin- und herfahrenden Stabe. Der scheinbar geringe Unterschied, daß sich jetzt Ein- und Austrittsstelle des Lichts in das bewegte Medium, vom Standpunkte des Beobachters gesehen, mitbewegen und nicht wie beim Wasser im Raume feststehen, führt zu einer neuen, dritten Formel für ε. ZEEMAN hat sie selbst gefunden, und LORENTZ hat sie auf seine Bitte aus der Relativitätstheorie abgeleitet. Eine kurze elementare Ableitung hat dann (November 1919) unter anderen ZERNIKE gegeben. Statt des ε der Formel (2),

$$1 - \frac{1}{n^2} - \frac{\lambda}{n}\frac{dn}{d\lambda},$$

ergibt sich nunmehr

$$\varepsilon = \frac{1}{n} - \frac{1}{n^2} - \frac{\lambda}{n^2}\frac{dn}{d\lambda}, \tag{3}$$

und Δ folgt daraus, wenn man die Erscheinung beim Hin- und Rückgang vergleicht und die Stablänge mit l bezeichnet, wie oben zu

$$\Delta = \frac{4 l \varepsilon v n^2}{c\lambda}.$$

Quarz- oder Glasstäbe, aus Einzelzylindern zu einer Gesamtlänge von 100 bis 140 cm zusammengesetzt, liegen auf Metallschlitten und werden durch einen Motor, dessen rotierende Bewegung durch eine Pleuelstange in eine lineare umgesetzt wird, auf metallenen Schienen hin- und herbewegt, 184mal in der Minute, mit einer Maximalgeschwindigkeit von über 10 m/sec, die konstant ist über 20 cm. Der Apparat ist nicht ohne Gefahr. Einmal löst sich ein Glaszylinder bei voller Geschwindigkeit und zerstört die übrigen und die Arbeit mehrerer Monate. Die Geschwindigkeit kann man aus Tourenzahl des Motors und Pleuelstangenanordnung für jeden Augenblick bestimmen, aber auch optisch auf verschiedene Weise. Bei der größten Geschwindigkeit wird durch einen automatisch betätigten Unterbrecher rund $^1/_{100}$ sec belichtet. Die Interferenzstreifen werden zweimal photographiert, einmal bei den Hin-, einmal bei den Rückgängen. Sie sind zuletzt so deutlich, daß sie subjektiv Kollegen vorgeführt werden können. Die Formel (3) ergibt, auf $v = 10$ m/sec normiert, beim Glas 0,242; der Dispersionsterm steuert hierzu 0,028 bei, muß also unbedingt beachtet werden. Der Versuch liefert je nach Mittelwertsbildung $0{,}242 \pm 0{,}004$ oder $0{,}243 \pm 0{,}006$ bei einer wirksamen Wellenlänge 4750 ± 25 Å.

Und nun die zeitlich letzte Auswirkung des Mitführungsproblems. Nochmals ist eine neue Formel für ε oder die Streifenverschiebung Δ nötig, die durch die Eigentümlichkeit bedingt ist, daß das Licht jetzt (Fig. 4) senkrecht zur Bewegungsrichtung in den bewegten Glaskörper eintritt, um ihn dann mit oder gegen die Bewegungsrichtung zu durchlaufen. Jetzt ergibt sich die Streifenverschiebung beim Vergleich entgegenlaufender Strahlen zu

$$\Delta = \frac{2 l v}{c\lambda}, \tag{4}$$

also unabhängig von der Brechzahl und im entgegengesetzten Sinne als bisher: *mit* der Glasbewegung braucht das Licht länger als gegen die Bewegung, weil das Weglaufen der rechten Schrägfläche die Zeitverkürzung durch die Mitführung überkompensiert. Man kann die Unabhängigkeit des Δ von n auch aus der LORENTZ-Transformation rasch herausrechnen.

In dieser Form ist der Versuch nicht ausgeführt worden, d.h. ähnlich wie bei ZEEMAN mit hin- und hergehenden Glasstäben. Vielmehr hat man an Stelle der translatorischen eine Drehbewegung gesetzt. Das sind Versuche von SAGNAC und von MICHELSON, von HARRESS und von POGÁNY, und das bei allen ähnliche Schema ist in Fig. 5 angedeutet. Licht fällt von oben ein, wird in die horizontale Richtung reflektiert und durch einen auf einer Drehscheibe stehenden Doppelspiegel und durch weitere Spiegelungsmöglichkeiten gezwungen, die Peripherie der Drehscheibe teils mit, teils gegen den Uhrzeiger zu umlaufen. Zuletzt werden beide Teilbündel, das rechts- und das linksumlaufende, zur Interferenz gebracht. Ruht die Scheibe, so beobachtet man ein gewisses Streifenbild. Dreht sie sich mit der Winkelgeschwindigkeit ω, und ist F die von den Teilbündeln umlaufene Fläche, so sollten sich die Streifen nach Formel (4) verschieben, wenn man darin lv durch $2\omega F$ ersetzt:

$$\Delta = \frac{4\omega F}{c\,\lambda}. \tag{4'}$$

Bei SAGNAC (1914) rotiert eine Drehscheibe von 50 cm Durchmesser mit maximal zwei Umdrehungen in der Sekunde ($\omega = 2 \cdot 2\pi$). Das soll bei 865 cm² umlaufener Fläche ein Δ von nur

$$\frac{4 \cdot 2 \cdot 2\pi \cdot 865}{3 \cdot 10^{10} \cdot 4{,}3 \cdot 10^{-5}} = 0{,}034$$

ergeben, und dies wird mit einigen Prozent Genauigkeit auch beobachtet.

Bei MICHELSON, der damit 1925 einen einige Jahrzehnte alten Plan verwirklicht und der Reihe seiner ungewöhnlichen Interferenzversuche wie der interferometrischen Messung der Doppelsternabstände und Sterndurchmesser einen weiteren erstaunlichen hinzufügt, ist die rotierende Erde die Drehscheibe. Nun ist die Winkelgeschwindigkeit sehr klein geworden, in der geographischen Breite 42° ist sie

$$\frac{2\pi}{86\,164} \sin 42^\circ = 0{,}49 \cdot 10^{-4},$$

so daß gegen SAGNAC der Faktor $3{,}9 \cdot 10^{-6}$ hineinkommt. Aber das wird durch eine riesige Ausdehnung der umlaufenen Fläche mehr als ausgeglichen. Sie ist ein Rechteck luftleer gepumpter Röhren von 613 und 340 m Seitenlänge, also $2{,}4 \cdot 10^6$mal so groß als bei SAGNAC. Das in Δ erscheinende Produkt ωF wird also fast 10mal größer. Eine größere Wellenlänge verkleinert den Faktor wieder etwas, schließlich wird das erwartete Δ rund das 7fache des SAGNACschen Wertes: $\Delta = 0{,}236 \pm 0{,}002$. Gefunden aber wird bei diesem optischen Gegenstück zum FOUCAULT-Pendel im Einklang mit der Theorie $0{,}230 \pm 0{,}005$.

HARRESS verwendet in seiner Jenaer Dissertation von 1912, die er im Keller der Jenaer Sternwarte mit Zeißschen Hilfsmitteln und Ratschlägen unter O. KNOPF durchführt, einen Kranz von zehn aneinandergefügten Prismen aus einem Barium-Silikat-Kronglas, die auf der Drehscheibe Fig. 5 längs der Randlinie angeordnet sind, acht gleichen und zwei gesondert geformten an der Ein- und an der Austrittsstelle des Lichts in den Glaskranz. Die in der Figur schematisch angedeuteten Spiegelungen sind Totalreflexionen an den Hypothenusenflächen der Prismen. Der Anschluß an ZEEMAN ist dadurch, daß der Strahlengang wesentlich in Glas verläuft, besser gewahrt als bei SAGNAC, aber es kommt ja nach (4) auf die Brechzahl des durchlaufenen Mediums nicht an. Nach dem Durchlaufen ihrer entgegen-

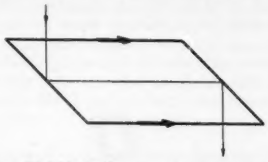


Fig. 4. Zur Lichtfortpflanzung im bewegten Glasstab.

gesetzten Wege gehen beide Bündel wieder radial zum Mittelprisma zurück, werden wieder senkrecht nach oben gespiegelt und zur Interferenz gebracht. Die Theorie wird bestätigt, mit Abweichungen von 10 bis 18% zwischen den einzelnen Messungen. Doch stören

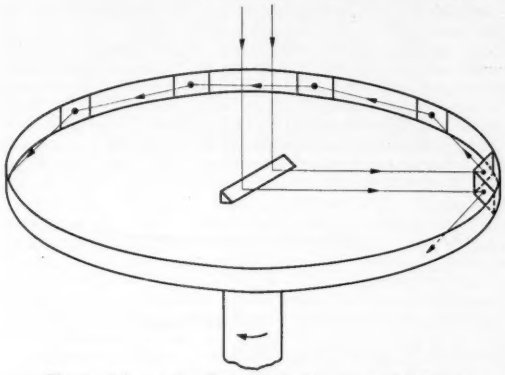


Fig. 5. Schema der Versuchsanordnung von HARRESS.

Rechenfehler und andere Versehen, die KNOPF und v. LAUE acht Jahre später, nachdem HARRESS ein Opfer des ersten Weltkriegs geworden, in den Annalen 1920 sehr ausführlich diskutieren, das Ergebnis der verdienstvollen Arbeit.

Den verständlichen Wunsch, sie in verbesserter Form wiederholt zu sehen, erfüllt BÉLA POGÁNY 1926, wiederum mit Mitteln der Firma Zeiß im Keller von deren Hochhaus, mit Dank an MAX WIEN, BAUERSFELD, STRAUBEL u. a. In seiner ersten Arbeit verlaufen die Strahlen wie bei SAGNAC ganz in Luft. Sie treten wie in Fig. 5 axial in das rotierende System ein, das nun bis 2000 Umdrehungen in der Minute macht, und werden durch vier Spiegel herumgespiegelt. Die Interferenzstreifen erscheinen auf einer mitrotierenden Photoplatte. Das theoretische Δ wird experimentell auf 1 bis 2% wiedergefunden, was wohl nicht ganz genügt. 1928 wird der Versuch, nun mit eingebauten Glasparallelepipeden, also sich der HARRESSschen Anordnung nähernd, mit der inzwischen nach Budapest überführten Apparatur erneut angestellt und kann nun innerhalb von 1% den theoretischen Wert 0,906 des Δ bestätigen. Dadurch wird unter anderem die Aussage der allgemeinen Relativitätstheorie gestützt, daß „die mit der Drehung verbundenen Beschleunigungen die

Lichtgeschwindigkeit in keiner wahrnehmbaren Weise beeinflussen".

Von Paris über Amerika, Holland, Deutschland nach Ungarn geht so der Jahrhundertweg, an dessen Eingangspforte FIZEAU, der heute Gefeierte, steht. Kann die völkerverbindende Kraft unserer Wissenschaft, die nicht auf allen kulturellen Gebieten eine gleich rühmliche Nachahmung findet, schöner in Erscheinung treten?

Literatur.

CORNU, A.: C. R. hebd. Séances Acad. Sci. **123**, 471 (1896). — FIZEAU, M. H.: C. R. hebd. Séances Acad. Sci. **33**, 349 (1851). — Ann. Chim. Phys. **57**, 385 (1859). — FRESNEL, A.: Ann. Chim. Phys. **9**, 57, 1818. — Oeuvres **2**, 627. — HARRESS, F.: Diss. Jena 1912. — KNOPF, O.: Ann. Physik **62**, 389 (1920). — LAUE, M. v.: Ann. Physik **23**, 989 (1907). — LAUE, M. v.: Ann. Physik **62**, 448 (1920). — LORENTZ, H. A.: Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern. Leiden 1895. — MICHELSON, A. A.: Phil. Mag. **8**, 716 (1904). — Astrophysic. J. **61**, 137 (1925). — MICHELSON, A. A., and H. G. GALE: Astrophysic. J. **61**, 140 (1925). — MICHELSON, A. A., and E. W. MORLEY: Amer. J. Sci. **31**, 377 (1886). — MÜLLER-POUILLETS: Lehrbuch der Physik, 11. Aufl., Bd. II/1, S. 53ff. (F. JÜTTNER.) — POGÁNY, B.: Ann. Physik **80**, 217 (1926); **85**, 244 (1928). — SAGNAC, G.: J. de Phys. **4**, 177 (1914). — SOMMERFELD, A.: Vorlesung über Theoretische Physik 4 (Optik) S. 71. — WIEN-HARMS: Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 18, S. 39ff. (M. v. LAUE.) — ZEEMAN, P. u. Mitarb.: Proc. Amsterdam **17** (1914) bis **24** (1921), zusammengefaßt u. erweitert Arch. néerl., III A **10**, 131 (1927). — ZEEMAN, P., et A. SNETHLAGE: Arch. néerl., III A **10**, 180 (1927). — ZERNIKE, F.: Arch. néerl. III A **10**, 189 (1927).

Ernst-Abbe-Professur an der Universität Jena.

Eingegangen am 15. Juni 1951.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die Kurzen Originalmitteilungen sind ausschließlich die Verfasser verantwortlich.

Hochauflösende Geschwindigkeitsanalyse mit magnetischen Elektronenlinsen.

Das von einer in Achsennähe einer Elektronenlinse liegenden Elektronenquelle ausgehende Strahlenbündel wird bekanntlich auf der anderen Seite der Linse in einen Bildpunkt fokussiert, wenn die Elektronenquelle sich weiter von der Linse befindet als ihr Brennpunkt. Dieser GAUSSsche Bildpunkt ist eigentlich die Spitze der zu diesem Strahlenbündel gehörigen Kaustikfläche. Rückt man die Elektronenquelle in den Linsenbrennpunkt, so wandert der GAUSSsche Bildpunkt (die Kaustikspitze) ins Unendliche. Bringt man aber die Elektronenquelle noch näher an die Linse heran, so werden die achsennahen Strahlen überhaupt nicht mehr fokussiert. Die Kaustikfläche öffnet sich trichterförmig (Fig. 1). Legt

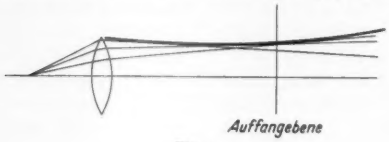


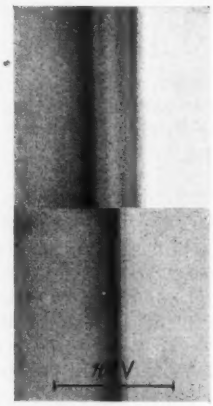
Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 1 u. 2. Zur Entstehung und Abbildung des Kaustikrandes.

man irgendwo hinter der Linse eine Auffangebene (Leuchtschirm oder Photoplatte) senkrecht zur Linsenachse, so entsteht auf dieser Auffangebene der in der Elektronenspektroskopie sog. Ringfokus. Dieser Ringfokus ist also die Schnittfigur der Kaustikfläche mit der Auffangebene. Man sieht eine kreisförmige Figur mit scharfem Rand. Das Innere dieser Randlinie ist von auftreffenden Elektronen diffus erhellt, das Äußere ist völlig dunkel. Theorie und Experiment ergeben übereinstimmend eine sehr starke Abhängigkeit des Ringfokusdurchmessers von der Linsenstärke.

Dieser Effekt läßt sich im normalen magnetischen Elektronenmikroskop zur Geschwindigkeitsanalyse der Elektronen ausnutzen, ohne daß ein Umbau der Apparatur notwendig wäre (abgesehen davon, daß bei hohen Strahlspannungen Polschuhe auszuwechseln sind). Man läßt den Strahl wie üblich geradeaus durch das Mikroskop fallen und erzeugt mit der Objektivlinse bei herausgenommener Objektivblende einen Ringfokus. Durch Dezentrieren erreicht man, daß ein Ausschnitt aus seinem Rand durch die Projektivlinse nachvergrößert wird (Fig. 2). Um hierbei mit der Elektronenquelle nicht zu nahe an die Objektivlinse heranrücken zu müssen, arbeitet man am besten mit einer Linsenstärke, welche dicht unter der zum ersten teleskopischen Strahlengang gehörigen liegt. Sollte es bei hohen Strahlspannungen nicht möglich sein, eine normale Objektivlinse so stark zu durchfluten, so kann man an Stelle des üblichen einspaltigen einen zweispaltigen Polschuh setzen. Das obere Teilbild in Fig. 3 zeigt ein auf diese Weise gewonnenes Bild eines Kaustikrandes bei 95 kV. Man sieht, daß der Rand keine einheitliche scharfe



Innenseite | Außenseite der Kaustiken.

Fig. 3. Kaustikränder bei 95 kV ohne (Aufn. 5162/51) und mit (5163/51) Brummkompensation.

Linie ist, sondern aus verschiedenen Linien besteht. Dies ist eine Folge des von der Hochspannungsanlage erzeugten Wechselspannungsbrumms. Daß es sich hierbei nicht um andere Effekte handelt, zeigte sich beim Ausschalten der Primärspannung des Hochspannungserzeugers. Dies führte nämlich zum sofortigen Zusammenrücken des Kaustikrandes auf eine einzige scharfe Linie. Eine photographische Aufnahme dieser Linie war jedoch nicht möglich, da in diesem Fall die Hochspannung allmählich absinkt, die scharfe Linie also im Sinne einer Verkleinerung des Ringdurchmessers relativ schnell über die Auffangebene wandert. Durch Zuschalten einer kleinen, nach Amplitude und Phase regelbaren 50 Hz-Wechselspannung zur Hochspannung konnte ein Teil des Brumms kompensiert werden. Die untere Hälfte von Fig. 3 zeigt den durch optimale 50 Hz-Kompensation erzeugten, gegenüber dem oberen bereits deutlich verschärften Kaustikrand bei 95 kV. Man sieht jedoch, daß auch diese Linie noch Mehrfachstruktur zeigt, daß der Brumm also noch mit 50 Hz nicht kompensierbare Oberfrequenzen enthält. Der Zusammenhang zwischen Randverschiebung und Spannungsunterschied wurde durch Zuschalten einer bekannten kleinen Gleichspannung zur Hochspannung und Beobachtung der dadurch hervorgerufenen Linienverschiebung geeicht. Das Ergebnis dieser Eichung ist

auf Fig. 3 in Form eines Spannungsmaßstabes mit eingezeichnet. Man sieht, daß in Fig. 3 noch Linien im Abstand von 5 V voneinander getrennt erscheinen, daß also das Auflösungsvermögen dieser Anordnung im gegenwärtigen Stand bereits $5 \cdot 10^{-5}$ beträgt.

Das beschriebene Verfahren kann dienen zur

1. Prüfung der Konstanz der Hochspannung,
2. Prüfung der Konstanz der Linsenströme,
3. Untersuchung der Geschwindigkeitsverluste der Elektronen im Objekt durch unelastische Streuung.

Im letzteren Fall ist das Auflösungsvermögen einer solchen Anordnung durch folgende vier Faktoren begrenzt:

1. durch die thermische Geschwindigkeitsinhomogenität der aus der Kathode austretenden Elektronen,
2. durch die endliche Ausdehnung der Elektronenquelle (d.h. des engsten Strahlquerschnitts im Strahlerzeuger),
3. durch die Inkonstanz der Strahlspannung (Brumm),
4. durch die Inkonstanz des Objektivspulenstroms.

Der zweite dieser Faktoren wurde dadurch weitgehend ausgeschaltet, daß mittels der Kondensorlinse ein stark verkleinertes Bild des engsten Strahlquerschnitts in der hinteren Brennebene der Kondensorlinse erzeugt wurde.

Aus dem Rheinisch-Westfälischen Institut für Übermikroskopie, Düsseldorf.

Eingegangen am 18. September 1951. FRIEDRICH LENZ.

Orientierte Verwachsungen von Kampfer und kampferähnlichen Verbindungen.

Bei Untersuchungen, ob die Partner von Molekelverbindungen ganz allgemein orientiert aufeinander aufzuwachsen vermögen, beobachtete ich, daß Kampfer eine relativ starke Neigung für gerichtete Verwachsungen zeigte. Dies bezog sich nicht nur auf Molekelverbindungspartner, sondern auch auf Stoffe, bei denen mit einer Verbindung kaum zu rechnen war.

Da in der Literatur teilweise die Meinung vertreten wird, daß Stoffe mit linearer oder planarer Anordnung in der Molekel bevorzugt orientiert verwachsen, bei unregelmäßig gestalteten Molekeln dagegen orientierte Verwachsungen selten sind[1]), untersuchte ich, wie weit es gelingt, von Kampfer und ähnlichen Stoffen Orientierungen zu erzeugen. Man zählt Kampfer ja zu den sehr verzweigten Gebilden mit ausgesprochen räumlicher Anordnung. Es zeigte sich, daß Phenole und Nitroverbindungen aussichtsreich für orientierte Verwachsungen mit Kampfer sind. Von den mir zugänglichen Amiden ergaben nahezu alle orientierte Verwachsungen. Neben Kampfer wurden auch die mit ihm isomorphen Stoffe Borneol, Isoborneol und Bornylchlorid mit denselben Trägern geprüft und eine erstaunliche Übereinstimmung gefunden.

Auf den 24 Trägern, die für die Untersuchung mit den vier Gaststoffen ausgewählt wurden, war in keinem Fall ausgesprochen unorientierte Anordnung der Sublimationskristalle zu beobachten. In einigen wenigen Fällen konnte nicht klar entschieden werden, ob die Kristalle, die wohl an Kanten und Rissen des Kristallfilms gerichtet waren, noch als orientiert anzusprechen sind, sie waren aber keineswegs als eindeutig unorientiert zu bezeichnen. In der Tabelle 1 wurden diese Beispiele mit ? versehen, während das +-Zeichen eindeutige Orientierung angibt. Pyrogallol, Brenzkatechin und p-Nitrophenol sind in Kampfer so stark löslich, daß keine festen Sublimate erhalten wurden.

Tabelle 1.

Träger	dl-Kampfer	d-Borneol	Isoborneol	Bornylchlorid
Monobromkampfer	+	+	+	+
Brenzkatechin . .	flüssig	+	+	+
Hydrochinon . .	+	+	+	+
Pyrogallol	flüssig	+	+	+
p-Nitrophenol . .	flüssig	+	+	+
α-Dinitrophenol .	+	+	+	+
γ-Dinitrophenol .	+	+	+	?
Pikrinsäure . . .	+	+	+	?
s-Trinitrotoluol . .	+	+	+	+
o-Acetotoluid . .	+	+	+	+
p-Acetotoluid . .	+	+	+	+
1,2,4-Nitrotoluidin	+	+	+	+
Benzoesäure . . .	+	+	+	+
Salizylsäure . . .	+	+	+	+
p-Nitroanilin . . .	+	+	+	+
Acetamid	+	+	+	+
Chloracetamid . .	+	+	+	+
Propionamid . .	+	+	+	+
n-Butyramid . . .	+	+	+	+
Lactamid	+	+	+	+
Benzamid	+	+	+	+
Salicylamid . . .	+	+	+	+
Succinimid . . .	+	+	+	+
Dicyandiamid . .	+	?	+	?

Die Güte der orientierten Abscheidungen war verschieden, besonders gute Orientierungen waren auf Monobromkampfer zu erzielen, der wohl mit den vier Gaststoffen Mischkristalle bildet. Auch auf Benzoesäure, Salizylsäure und einzelnen Amiden waren größere Flächen fehlerlos orientiert, während bei einigen Phenolen nur kleinere Stellen des Kristallfilms Orientierung zeigten. Fig. 1 zeigt orientierte Kristalle von Kampfer auf Hydrochinon.

Alle Versuche wurden auf dem KOFLER-Heizmikroskop ausgeführt. Als Träger dienten Abreißfilme, wie sie durch Abreißen des Deckglases von einem Objektträger-Deckglaspräparat erhalten werden[2]). Zur Herstellung der Kristallfilme leistete die KOFLER-Heizbank mit einer Temperaturspanne von 50 bis 260° gute Dienste.

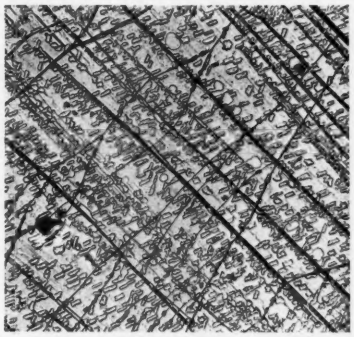


Fig. 1. Kampferkristalle orientiert auf Hydrochinon abgeschieden.

Über einige Körnchen des Gaststoffes wird ein Glasring von etwa 3 bis 4 mm Höhe gelegt, und darüber kommt die frisch abgerissene Kristallfläche, die an einem Objektträger oder Deckglas haftet. Der Heiztisch wird auf die gewünschte Temperatur gebracht und bei offener Apparatur beobachtet. Die Sublimation erfolgt bei kampferartigen Stoffen sehr schnell, wobei die Form der Sublimate sich bald verändert, so daß Beobachtung sofort nach dem Aufbringen des Präparates angezeigt ist.

Zahlreiche Versuche ergaben für jede der vier Gastsubstanzen eine optimale Sublimationstemperatur. Für Kampfer betrug sie etwa 50°, für Borneol 60°, für Isoborneol ebenfalls 60° und für Bornylchlorid 45°. Bei tief schmelzenden Trägersubstanzen mit entsprechend tief gelegenen eutektischen Temperaturen mußte die Sublimationstemperatur erniedrigt werden. Zum Beispiel wurde Borneol auf Resorcin bei 45° aufsublimiert. (Die Angaben beziehen sich auf Thermometerablesung bei unbedecktem Heiztisch.) Als Trägerflächen verwendete ich im allgemeinen die stabilen Modifikationen, bei Acetamid allerdings konnte ich von Kampfer und Bornylchlorid nur auf der instabilen Modifikation eindeutig orientierte Kristalle erhalten, während Borneol und Isoborneol auch auf der stabilen Form Orientierung zeigten.

Pharmakognostisches Institut der Universität Innsbruck.

Eingegangen am 1. November 1951. M. BRANDSTÄTTER.

[1]) NEUHAUS, A: Naturwiss. **35**, 27 (1948).
[2]) BRANDSTÄTTER, M.: Mikrochem. **33**, 184 (1947).

Ein rasch konvergierendes Iterationsverfahren zur Lösung von Strahlungsgleichgewichts-Problemen.

Zur Berechnung des Strahlungsgleichgewichtes nichtgrauer Sternatmosphären bediente man sich bisher am besten eines Iterationsverfahrens, bei dem auf eine nullte Näherung der Ergiebigkeit S_ν immer wieder der sog. HOPFsche Λ-Operator angewandt wird[1]). Dieses Verfahren konvergiert zwar an der Sternoberfläche rasch, in größeren Tiefen aber immer schlechter, da der Λ-Operator stets nur etwa *eine* freie Weglänge der Lichtquanten weit „greift".

Diesen Nachteil vermeidet folgendes neue Verfahren:

1. Aus der nullten Näherung $S_\nu(\tau_\nu)$ (wo τ_ν die optische Tiefe bei der betrachteten Frequenz bedeutet) berechne man

den Strahlungsstrom $\pi F_\nu(\tau_\nu)$ als Funktion von τ_ν nach der bekannten Gleichung:

$$\frac{1}{2} F_\nu(\tau_\nu) = \int_0^\infty S_\nu(\tau_\nu + u) K_2(u)\, du - \int_0^{\tau_\nu} S_\nu(\tau_\nu - u) K_2(u)\, du, \quad (1)$$

in der K_n die Integralexponentialfunktion bedeutet.

2. Für eine bestimmte geometrische Tiefe bzw. die optische Tiefe $\bar{\tau}$ für die Opazität $\bar{\varkappa}$ erhält man den Gesamtstrahlungsstrom πF durch Integration über das ganze Spektrum

$$\pi F(\bar{\tau}) = \int_0^\infty \pi F_\nu(\tau_\nu(\bar{\tau}))\, d\nu. \quad (2)$$

3. Dieses πF weicht von dem vorgegebenen konstanten Strahlungsstrom πF_0 um einen — nicht zu großen — Fehler ab:

$$\Delta F(\bar{\tau}) = F(\bar{\tau}) - F_0.$$

4. Dieser ist nun zu *korrigieren*. Das heißt, zu der Ergiebigkeit für die Gesamtstrahlung S ist eine Korrektion ΔS hinzuzufügen, die $\Delta F(\bar{\tau})$ gerade zum Verschwinden bringt. Dies geschieht mit Hilfe der Gleichung[2])

$$-\Delta S(\bar{\tau}) = \frac{1}{2} \Delta F_{\bar{\tau}=0} + \frac{3}{4} \int_0^{\bar{\tau}} \Delta F(\bar{\tau})\, d\bar{\tau} - \frac{1}{4} \frac{d\Delta F(\bar{\tau})}{d\bar{\tau}}, \quad (3)$$

die man aus der Transportgleichung der Strahlung leicht nach dem EDDINGTONschen Näherungsverfahren ableitet. Man kann so übrigens auch Atmosphären behandeln, in denen ein Teil des Energietransportes durch *Konvektion* bewerkstelligt wird.

Die ausgezeichnete Konvergenz unseres Verfahrens möge durch Berechnung der ersten Iteration für das einfache Problem der *grauen Atmosphäre* illustriert werden: Wir schreiben

$$S = \frac{3}{4} F_0(\tau + q(\tau)) \quad (4)$$

und beginnen mit der bekannten MILNEschen Näherung $q = \frac{2}{3}$. Dann erhält man nach (1), wobei die Integralexponentialfunktionen K_n durchweg für das Argument τ gemeint sind:

$$\Delta F = F_0\left(K_3 - \frac{3}{2} K_4\right) \quad (5)$$

und nach Gl. (3) die Verbesserung Δq [wir schreiben in (4) das $q(\tau) = \frac{2}{3} + \Delta q(\tau)$]:

$$\Delta q(\tau) = \frac{1}{24} - \frac{1}{3} K_2 + \frac{1}{2} K_3 + K_4 - \frac{3}{2} K_5. \quad (6)$$

Ein Vergleich unserer ersten Iteration $q(\tau) = \frac{2}{3} + \Delta q(\tau)$ mit den exakten Werten nach C. MARK[3]) zeigt die ausgezeichnete Konvergenz des neuen Verfahrens:

	$\tau = 0$	0,1	0,3	0,5	1,0	2,0	∞
$q(\tau)$ Nach Gl. (6):	0,583	0,635	0,665	0,679	0,694	0,704	0,708
$q(\tau)$ Exakt:	0,577	0,628	0,663	0,680	0,698	0,708	0,710

Weitere Anwendungen sollen an anderer Stelle behandelt werden.

Institut für Theoretische Physik und Sternwarte der Universität Kiel.

A. UNSÖLD.

Eingegangen am 6. Oktober 1951.

[1]) UNSÖLD, A.: Z. Astrophysik **24**, 363 (1946). — STRÖMGREN, B.: Astronom. J. **53**, 107 (1948).

[2]) In anderem Zusammenhang bei R. V. D. R. WOOLLEY [Monthly Notices Roy. astronom. Soc. **101**, 52 (1941)] und R. CAYREL [Ann. d'Astrophys. **14**, 1 (1951)].

[3]) MARK, C.: Physical. Rev. **72**, 558 (1947).

Mosaikblockgrenzen als Energieschwellen für Versetzungen *.

Das Schubspannungsfeld des von READ und SHOCKLEY[1]) u. a. vorgeschlagenen Versetzungsmodells der Korngrenzen ist im einfachsten Fall (isotropes Medium, einfach kubischer Kristall, Korngrenze [$x = 0$] senkrecht zur Gleitrichtung [x-Richtung])

$$\left.\begin{aligned} \tau_{xy}(x, y) = &-\frac{G a}{2\pi(1-\nu)} \left(\frac{\pi}{D}\right)^2 \times \\ &\times \frac{\sin^2 \frac{\pi y}{D} \mathfrak{Cof}^2 \frac{\pi x}{D} - \cos^2 \frac{\pi y}{D} \mathfrak{Sin}^2 \frac{\pi x}{D}}{\left[\sin^2 \frac{\pi y}{D} + \mathfrak{Sin}^2 \frac{\pi x}{D}\right]^2} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

(G = Schubmodul, ν = POISSONsche Zahl, a = Gitterkonstante, D = Versetzungsabstand in der Korngrenze). Gl. (1) gilt in elastizitätstheoretischer zweidimensionaler Näherung

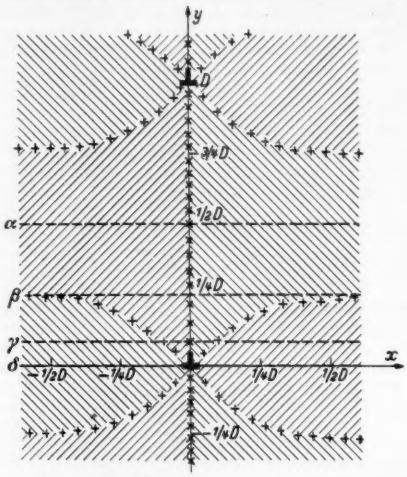


Fig. 1. Das Spannungsfeld in der Umgebung der Korngrenze. In entgegengesetzt schraffierten Bereichen hat τ_{xy} entgegengesetztes Vorzeichen.

für $+y$-Versetzungen[1]) in der Korngrenze; in gleicher Näherung ist die Kraft je Netzebene auf eine $+y$-Versetzung gegeben durch[2])

$$K_x = a^2 \tau_{xy}(x, y).$$

Die potentielle Energie je Netzebene einer Versetzung (abzüglich ihrer Eigenenergie) in einem Punkt x, y ist

$$\begin{aligned} U(x, y) &= -a^2 \int_{-\infty}^{x} \tau_{xy}(\xi, y)\, d\xi \\ &= \frac{G a^3}{2\pi(1-\nu)} \left[\frac{x\pi}{D} \frac{\mathfrak{Sin} \frac{2\pi x}{D}}{\mathfrak{Cof} \frac{2\pi x}{D} - \cos \frac{2\pi y}{D}} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} \ln\left[2\left(\mathfrak{Cof} \frac{2\pi x}{D} - \cos \frac{2\pi y}{D}\right)\right]\right]. \end{aligned}$$

Die Energiefläche $U(x, y)$ ist symmetrisch zu $x = 0$ und periodisch in y-Richtung. Ihre Schnitte $y = \text{const}$ besitzen längs der in Fig. 1 mit Kreuzen bezeichneten Linien $\left(x = 0 \text{ und } \operatorname{tg}^2 \frac{\pi y}{D} = \mathfrak{Tg}^2 \frac{\pi x}{D}\right)$ Mulden bzw. Kämme; in gleichschraffierten Gebieten hat τ_{xy} das gleiche Vorzeichen. Man erkennt sofort, daß die Versetzungsanordnung in der Korngrenze stabil ist, da eine herausgegriffene Versetzung durch das Spannungsfeld aller übrigen an ihrem Ort festgehalten wird. Fig. 2 gibt Schnitte der U-Fläche längs der in Fig. 1 gestrichelt gezeichneten Geraden $\alpha - \delta$ wieder; Fig. 3 stellt die Maxima und Minima der Schnitte $y = \text{const}$ als Funktion von y dar. Die Figuren sind für eine $+y$-Versetzung im Punkt (x, y) gezeichnet; für $-y$-Versetzungen ist die U-Achse umzukehren.

Die Einheit für U in den Fig. 2 und 3 ist im Falle von Cu ($G = 4{,}53 \cdot 10^{11}$ dyn cm^{-2}, $\nu = 0{,}340$, $a = 2{,}552$ Å) 11,4 eV. Die auftretenden Energieschwellen haben also gerade die

*) Von Prof. U. DEHLINGER, Stuttgart, auf dem Solvay-Kongreß, Brüssel, September 1951 vorgetragen.

Größenordnung der Auflösungs- bzw. Bildungsenergieschwellen, wie sie die Analyse der experimentellen Ergebnisse nach KOCHENDÖRFER[3]) fordert (2 bis 3 eV). Im vorliegenden Bild erfolgt die Auflösung von Versetzungen durch die Vereinigung ungleichnamiger Versetzungen über die Korngrenze hinweg, während die Bildung von Versetzungspaaren durch das (unabhängig voneinander) von CRUSSARD[4]) und SEEGER[5]) vorgeschlagene Zusammenwirken von Schubspannungen mit

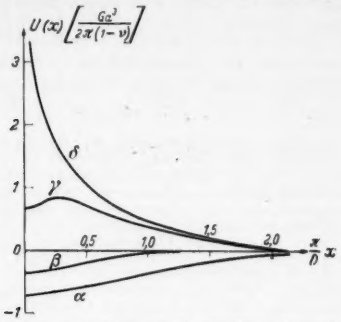


Fig. 2. Schnitte $y = \text{const}$ durch die U-Fläche längs der in Fig. 1 gestrichelt gezeichneten Geraden $\alpha\,(y = D/2)$, $\beta\,(y = D/4)$, $\gamma\,(y = D/12)$ und $\delta\,(y = 0)$.

günstig interferierenden thermischen Schwingungen zustande kommt. Dies ist möglich in der Nähe der Korngrenzenversetzungen, da dort die U-Kurven (Fig. 2) drei Extrema

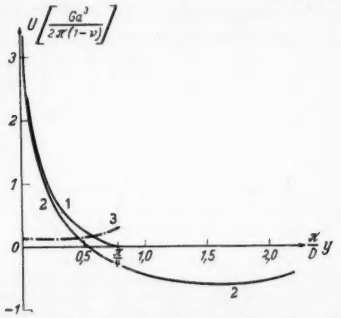


Fig. 3. Maxima (Kurve 1) und Minima (Kurve 2) der Schnitte $y = \text{const}$ als Funktion von y. Die strichpunktierte Kurve 3 gibt die Differenz der Kurven 1 und 2, also die eigentliche Energieschwelle wieder.

besitzen und deshalb ungleichnamige Versetzungen bei genügender Separation stabil sein können.

Stuttgart, Institut für theoretische und angewandte Physik der Technischen Hochschule Stuttgart und Max-Planck-Institut für Metallforschung.

ALFRED SEEGER*).

Eingegangen am 11. September 1951.

*) Zur Zeit Bristol University, H. H. Wills Physical Laboratory, Royal Fort, Bristol 8, Great Britain.

[1]) READ, W. T., u. W. SHOCKLEY: Physic. Rev. **78**, 275 (1950).
[2]) LEIBFRIED, G.: Z. Physik **126**, 781 (1949).
[3]) KOCHENDÖRFER, A.: Plastische Eigenschaften von Kristallen und metallischen Werkstoffen. Berlin: Springer 1941. — Z. Physik **126**, 548 (1949).
[4]) CRUSSARD, C.: Solvay-Conf. 1951.
[5]) SEEGER, A.: Diss. Stuttgart 1951 (Veröffentlichung in Z. Physik vorgesehen).

Altersbestimmung von Kalzitkonkretionen mit radioaktivem Kohlenstoff.

Eines der interessantesten Anwendungsgebiete der radioaktiven Elemente ist deren Heranziehung zur Altersbestimmung verschiedenster Überreste aus früheren Zeitepochen. So konnte man an Uranvorkommen im Urgestein aus dem Verhältnis der Grundsubstanz zu deren Zerfallsprodukten das Zeitalter der Bildung des Urgesteins errechnen. Neuerdings wird auch das radioaktive Kohlenstoffisotop ^{14}C zu ähnlichen Zeitmessungen herangezogen[1]). Es entsteht durch Einwirkung der von Höhenstrahlung erzeugten Neutronen auf ^{15}N-Atome der Luft nach der Formel

$$^{14}_{7}N\,(n, p)\,^{14}_{6}C$$

und gelangt als Kohlendioxyd in den Körper assimilierender Pflanzen, über diesen auch in den tierischen Organismus. Findet man heute in Gräbern oder Höhlen organisches Material, so kann durch Messung der Aktivität des noch vorhandenen ^{14}C-Gehalts der Zeitpunkt bestimmt werden, an dem dieses dem Austausch mit Luftkohlendioxyd entzogen wurde. LIBBY z. B. hat mit seinen Schülern Holzüberreste aus ägyptischen Grabkammern untersucht und deren Alter bestimmen können[2]). Schwierigkeiten macht dabei die Weichheit der β-Strahlung, die spezielle Zählrohrmodelle erfordert, in die die Untersuchungssubstanz eingeschlossen wird. Wegen dieser Eigenschaft des radioaktiven Kohlenstoffs und wegen seiner Halbwertszeit von 5568 ± 30 Jahren[3]) beschränkt sich die Anwendbarkeit der Methode auf etwa 20000 Jahre.

Bisher war man der Meinung, daß die Radiokarbonbestimmung nur auf organische Überreste angewendet werden könnte, da nur solche die Voraussetzung dafür zu erfüllen schienen, einen aus der Atmosphäre stammenden Kohlenstoffgehalt aufzuweisen, der im interessierenden Zeitpunkt dem Austausch mit Luftkohlenstoff entzogen wurde. Hier soll nun eine Überlegung gebracht werden, die zeigt, daß auch anorganisches Material, und zwar Kalksinter, für diese Methode zugänglich ist.

Bekanntlich entsteht Sinter auf folgende Weise: Aus Niederschlägen stammendes Wasser enthält stets einen Teil Kohlendioxyd, das darin gelöst ist und der Luft entnommen wurde. Dadurch wird es befähigt, beim Einsickern in Kalkstein nach der Formel

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = Ca\,(HCO_3)_2$$

wasserlösliches Bikarbonat zu bilden. Treffen nun solche Karbonatlösungen auf Hohlräume, so erfolgt dort oft Ausscheidung der Salze infolge Verdunstung oder Temperaturerhöhung, wobei obige Formel von rechts nach links durchlaufen wird.

Bei der Bildung der Bikarbonate reagiert also stets eine CO_2-Molekel, die aus der Luft stammt, mit einer $CaCO_3$-Molekel des Kalksteins. Da im Kohlendioxyd der für die Luft charakteristische Prozentsatz an radioaktivem Kohlenstoff beigemengt ist, haben die entstehenden Bikarbonate genau die Hälfte der ^{14}C-Konzentration der Luft. Bei der Rückwandlung in Karbonate bei der Auskristallisation bleibt dieses Verhältnis ungeändert, da alle C-Atome chemisch völlig gleichberechtigt sind. Somit ist auch bei Sinter der aus der Atmosphäre herrührende Kohlenstoff vorhanden, der zur Zeit der Sinterbildung, also im interessierenden Zeitpunkt, dem Austausch mit Luftkohlenstoff entzogen wurde; die Voraussetzungen für die Radiokarbonaltersbestimmung sind also tatsächlich erfüllt. Die Verhältnisse sind gegenüber denen bei organischem Material nur insofern geändert, als hier der Anfangsgehalt nur die Hälfte des dortigen beträgt. Organisches Material hat erst nach einer Halbwertszeit die Anfangskonzentration des ^{14}C von Sinter, so daß sich bei diesem auch die Anwendungsgrenze um eine Halbwertszeit vermindert, was aber keine wesentliche Einschränkung bedeutet.

Es seien noch einige Worte über die Bedeutung solcher Messungen angefügt. Bekanntlich kommt Sinter in Karsthöhlen sehr häufig vor, und zwar in den mannigfaltigsten Formen, in Schichten, als Tropfstein, als Kalzit oder Aragonitkristall usw. Abgesehen von den Aufschlüssen, die Altersbestimmungen über die Entstehung dieser Konkretionen selbst geben könnten — diese ist noch wenig geklärt —, würde man auch an geologische Fragen von allgemeinerem Interesse herantreten können. Die Bedeutung der Höhlen für geologische Untersuchungen ist im allgemeinen überhaupt wenig erkannt; nur hier liegen Schnitte durch ganze Gebirgsstöcke vor, wobei die Schichten durch keine exochthone Verwitterung gestört sind und frei zutage treten. Nun können aus der Form der Übersinterung oft weitgehende Schlüsse über jüngere Gesteinsbewegungen und Sedimentbildungen gezogen werden. Dazu seien ganz willkürlich einige Beispiele herausgegriffen. Sinter, der eine Bruchstelle überzieht, ist jünger, mitgesplitterter Sinter älter als der Verbruch; dadurch ist zeitliche Einengung solcher und ähnlicher Ereignisse möglich. Dasselbe gilt für Bodensenkungen, wenn schiefstehende (ältere) und jüngere (aufrechte) Tropfsteine auftreten. Auch das Alter von Sedimentschichten läßt sich auf diese Weise ungefähr ermitteln, wenn sie zwischen Sinterplatten eingeschlossen sind.

Die Anwendungsmöglichkeiten für Untersuchungen jüngerer geologischer Vorgänge — die, wie etwa die Verkarstungserscheinungen, auch wirtschaftliches Interesse finden — sind überaus vielfältig; es wird nun die Sache des Fachgeologen sein, sich ihrer zu bedienen.

Wien. HERBERT W. FRANKE.

Eingegangen am 18. Oktober 1951.

[1]) ZEUNER, F. E.: Nature [London] **166**, 757 (1950).
[2]) LIBBY, W. F., E. C. ANDERSON u. J. R. ARNOLD: Science (Lancaster, Pa.) **109**, 227 (1949).
[3]) ENGELKEMEIR, A. G., W. H. HAMILL, M. C. INGRAM u. W. F. LIBBY: Physic. Rev. **75**, 1825 (1949).

Einwirkung von Ammoniak auf metallisches Quecksilber.

In der US.-Literatur wird berichtet, daß Quecksilber (Hg) und Ammoniak (NH_3) unter Bildung heftig explodierender Stoffe reagierten[1],[2],[3]). Die Reaktionen erfolgten in Gegenwart von Eisen und Glas sowie von geringen Mengen Luft. Hierzu teilt R. G. ROBERTS[4]) mit, daß reines Hg und reines NH_3 in Glasgefäßen nicht reagieren. Er führt die Bildung der Explosivstoffe auf katalytische Reaktionen (eiserne Gefäßwände) zurück. Der von JOHN J. SAMPEY[3]) vorgefundene Explosivstoff hatte grau-braunes Aussehen. Eine Analyse, die der genannte Forscher ausführen ließ, ergab, daß es sich um Entwässerungsprodukte der MILLONschen Base handelt. Nach K. A. HOFMANN und E. C. MARBURG[5]) gibt es deren zwei [I. $NHg_2O_2H_3$; II. NHg_2OH], wovon das NHg_2OH durch Stoß oder leichtes Reiben explodiert.

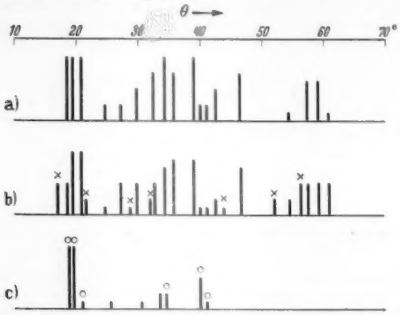


Fig. 1a—c. Schematische Wiedergabe der erhaltenen Pulveraufnahmen. Co-K_α-Strahlung bei etwa 32 kV und 20 mA; Kameradurchmesser 57,4 mm; Belichtungszeit 2 Std. a MILLONsche Base (synthetisch); b vorgefundener Stoff (die nicht angekreuzten Linien sind der MILLONschen Base zuzuordnen); c MILLONsche Base, nach teilweiser Entwässerung (synthetisch).

Ein bei der Ges. Linde untersuchter Explosivstoff ist teils tiefdunkelbraun, teils dunkelgrau. Er ist mit winzigen Hg-Kügelchen durchsetzt und explodiert im allgemeinen erst beim Erhitzen. Qualitativ wurden N und Hg nachgewiesen. Eine spektralanalytische Untersuchung ergab an metallischen Verunreinigungen: 0,5% Fe; etwa 2 bis 3% Ca; über 0,1% Cu als Beimengung; Mg, Sn und Mn in Spuren unter 0,05%. Ferner Si in Spuren unter 0,05%.

Fig. 1b zeigt das Röntgendiagramm des Stoffes. Dies enthält sämtliche Linien, welche MILLONsche Base (Fig. 1a) liefert, allerdings mit geringen Unterschieden in den Intensitäten. Beim Versuch, die synthetisch hergestellte Base zu entwässern, wurde ein Produkt erhalten, dessen Diagramm Fig. 1c zeigt. Dieses weist außer sechs Linien, die noch von der Base herrühren (in Fig. 1c durch Kreise gekennzeichnet), nur drei wenig scharfe neue Linien auf. Von dem Präparat konnte noch kein linienreicheres Diagramm erhalten werden.

Aus den Diagrammen a und b (Fig. 1) geht hervor, daß Hauptbestandteil des vorgefundenen Stoffes MILLONsche Base ist. Die festgestellten explosiven Eigenschaften dürften höchstwahrscheinlich durch geringe Mengen NHg_2OH hervorgerufen werden, das sich aus der Base gebildet hat.

Übrigens fanden auch schon C. MATIGNON und G. DESPLANTES[6]), daß NH_3 zugunsten einer langsamen Oxydation von Hg bei Raumtemperatur wirkt, wobei sich MILLONsche Base bildet. Ursache für die Entwässerung der Base dürfte die monatelange Einwirkung von NH_3 sein.

Die Entstehungsbedingungen glichen denen der amerikanischen Forscher[1],[2],[3]). Das NH_3 enthielt durchschnittlich 5 Vol-% Luft und der NH_3-Druck betrug ~2,5 ata. Vorübergehend stieg er auf ~10 ata an, so daß bei Raumtemperatur, die stets vorlag, auch die Bildung von flüssigem NH_3 möglich war. Hg und NH_3 standen in Berührung mit Glas und Eisen.

Da mit geringen Mengen Sauerstoff immer zu rechnen ist, bestand das Problem darin, die Oxydation des Hg zu verhindern. Dies wird durch Zinkamalgam mit einem Gehalt von etwa 1% Zn zu erreichen versucht. Es bilden sich geringe Mengen ZnO, die sich in der über dem Amalgam zeitweise vorhandenen NH_3-haltigen Ölschicht lösen. Hierdurch werden Verschmierungen und Schlackenbildung verhindert[7]). Das Öl wird von kondensiertem NH_3 ab und zu weggespült.

Versuchsstand der Ges. Linde in Wiesbaden-Dotzheim.

R. WEBER.

Eingegangen am 28. September 1951.

[1]) BRUNT, VAN: Science (Lancaster, Pa.) **65**, 63 (1927).
[2]) HENDERSON, L. M.: Ind. Eng. Chem. **10**, 73 (1932).
[3]) SAMPEY, JOHN J.: Refrigerat. Engng. **54**, 349 (1947).
[4]) ROBERTS, R. G.: Science (Lancaster, Pa.) **94**, 591 (1941).
[5]) HOFMANN, K. A., u. E. C. MARBURG: Ann. **305**, 208 (1899). — REMY, H.: Lehrbuch der anorganischen Chemie, 4. u. 5. Aufl. Bd. II. S. 490. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1949. — Vgl. auch GAUDECHON, H.: Ann. Chim. Phys. **22**, 151 (1911). — FRANKLIN, E. C.: Amer. Chem. J. **47**, 391 (1912).
[6]) MATIGNON, C., u. G. DESPLANTES: C. R. hebd. Séances Acad. Sci. **140**, 854 (1905).
[7]) KUSS, E.: Angew. Chem. **62**, 521 (1950).

Über die enzymatische Glutathionhydrolyse durch isolierte Zellkerne aus Schweineniere.

Seit den Arbeiten von GRASSMANN und Mitarbeitern[1]) ist die Resistenz von Glutathion gegen proteolytische Fermente bekannt; es liegt dies wohl an der γ-Peptidbindung zwischen

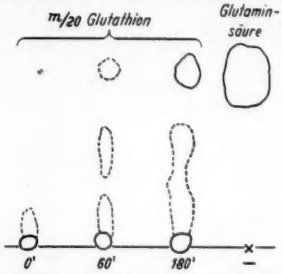


Fig. 1. Papierchromatogramm eines Zellkernfiltrats nach 0 bzw. 60 und 180 min Inkubation mit Glutathion. Rechts l-Glutaminsäure als Testlösung. Glutathion verbleibt auf der Startlinie unter geringfügiger Schwanzbildung. Nach 60 min ist ein sehr schwacher, nach 180 min ein deutlicher Glutaminsäurefleck mit Ninhydrin nachweisbar.

Glutaminsäure und Cystein. Nach GRASSMANN vermögen Pankreaspräparate, die reich an Carboxypeptidase waren, lediglich Glykokoll abzuspalten, während Glutaminylcystein anscheinend erhalten blieb. Andererseits spaltet Nierengewebe nach den neuesten sehr eingehenden Untersuchungen von BINKLEY[2],[3]) und Mitarbeitern zunächst durch ein Glutathionase benanntes Ferment Glutaminsäure ab; das verbleibende Cysteinylglycin wird dann durch eine ubiquitäre Dipeptidase weiter zerlegt.

Wie wir nun im Laufe anderer Untersuchungen gefunden haben, enthalten auch Zellkerne aus Schweineniere die sog. Glutathionase, sind also zur Lösung von γ-Peptidbindungen imstande. Die zu den Versuchen benutzten Zellkerne wurden nach LANG und SIEBERT[4]) aus schlachtfrischen Schweinenieren gewonnen. Je etwa 0,5 cm³ reines Kernsediment wurden mit m/20 oder m/10 Glutathion inkubiert; die Reaktion wurde durch kurzes Einstellen in ein kochendes Wasserbad unterbrochen. Nach Zentrifugieren wurde die überstehende Lösung papierchromatographisch untersucht. Als Papier dienten mit gleich guter Eignung Schleicher & Schüll 2043b oder Whatman I, als Lösungsmittel ein i-Butanol-2 n Essigsäure-Glykol-Gemisch wie 80:15:5. Ein typischer Versuch ist in der Figur wiedergegeben (Fig. 1).

Da bei den Umpeptidierungsreaktionen mit Glutathion, die von HANES[5]) und Mitarbeitern beschrieben worden sind, Glutaminylleucin bzw. Glutaminylphenylalanin auftreten, ist zu vermuten, daß die Freisetzung von Glutaminsäure einer der für eine Umpeptidierung notwendigen Schritte ist. Hierzu jedenfalls sind auch die von uns dargestellten Zellkerne imstande. Die weitere Bearbeitung ist im Gange.

Zusammenfassung. Zellkerne aus Schweineniere vermögen die γ-Peptidbindung in Glutathion unter Freisetzung von Glutaminsäure aufzuspalten.

Institut für physiologische Chemie der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz.
K. LANG, G. SIEBERT und L. MÜLLER.

Eingegangen am 8. September 1951.

[1]) GRASSMANN, W., H. DYCKERHOFF u. H. EIBELER: Hoppe-Seylers Z. **189**, 112 (1930).
[2]) BINKLEY, F., u. K. NAKAMURA: J. of biol. Chem. **173**, 411 (1948).
[3]) BINKLEY, F.: Nature [London] **167**, 888 (1951).
[4]) LANG, K., u. G. SIEBERT: Biochem. Z. (im Druck).
[5]) HANES, C. S., F. J. R. HIRD u. F. A. ISHERWOOD: Nature [London] **166**, 288 (1950).

Über d-Peptidasen in isolierten Zellkernen.

Bei Untersuchungen über die Peptidspaltung durch isolierte Zellkerne, über die an anderer Stelle demnächst berichtet werden soll, war uns aufgefallen, daß von razemischen Peptiden niemals mehr als 50% der eingesetzten Menge hydrolysiert worden waren. Wir haben daher das Verhalten der d-Peptidase in Zellkernen aus Schweineniere näher untersucht und das unerwartete Ergebnis erhalten, daß im Zellkern wesentlich weniger d-Peptidaseaktivität enthalten ist als in der übrigen Zelle.

Methodik. Die Zellkerne wurden nach LANG und SIEBERT[1]) aus schlachtfrischer Schweineniere gewonnen. Als Substrat dienten d-Leucylglycin-Präparate der Firmen Hoffmann-La Roche (I) bzw. Heyl (II) mit nachstehenden Analysendaten:

	F korr.	$[\alpha]_D^{20}$	% N	
			ber.	gef.
I	235°	−81°	14,89	14,89
II	236°	−81°	14,89	14,28

Die Versuchsansätze wurden mit m/20 Phosphat auf p_H 7,7 gepuffert und mit $1 \cdot 10^{-3}$ m Mn^{++} sowie $3 \cdot 10^{-3}$ m Cystein entsprechend den Angaben von BERGER und JOHNSON[2]) aktiviert. Nach beendeter Inkubation wurde mit Pikrinsäure enteiweißt und die Zunahme an freien Aminosäuren nach VAN SLYKE[3]),[4]) durch CO_2-Titration nach Chloramin-Einwirkung bestimmt. In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse zusammengestellt:

Spaltung von d-Leucylglycin durch Zellkerne bzw. Zytoplasma von Schweineniere, berechnet als μMol gespaltenes Peptid/Std/mg N der Gewebsfraktion.

Zellkerne	5,2
Zytoplasma . . .	33

d-Peptidase ist also im Zellkern der Schweineniere wesentlich weniger aktiv als im Zytoplasma. Daß Zellkerne keine d-Aminosäureoxydase enthalten, ist von uns vor einiger Zeit beschrieben worden[5]). Demnach fehlen dem Zellkern völlig oder weitgehend Fermente zum Abbau unnatürlicher Aminosäuren und ihrer Verbindungen. Unter diesen befinden sich zum Teil biologisch hochaktive Substanzen wie Antibiotica und Gifte. Die anscheinende Wehrlosigkeit des Zellkerns gegenüber solchen Verbindungen stellt ein für die weitere Bearbeitung zweifellos reizvolles Problem dar.

Zusammenfassung. Isolierte Zellkerne aus Schweineniere enthalten wesentlich weniger d-Peptidase als das Zytoplasma.

Institut für physiologische Chemie der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz.
G. SIEBERT, K. LANG und L. MÜLLER.

Eingegangen am 8. September 1951.

[1]) LANG, K., u. G. SIEBERT: Biochem. Z. (im Druck).
[2]) BERGER, J., u. M. J. JOHNSON: J. of biol. Chem. **133**, 639 (1940).
[3]) SLYKE, D. D. VAN, R. T. DILLON, D. A. MACFADYEN u. P. HAMILTON: J. of biol. Chem. **141**, 627 (1941).
[4]) SLYKE, D. D. VAN, D. A. MACFADYEN u. P. HAMILTON: J. of biol. Chem. **141**, 671 (1941).
[5]) LANG, K., u. G. SIEBERT: Biochem. Z. **320**, 402 (1950).

Über den Einfluß von Digitoxin auf die Extrahierbarkeit von Aktin aus dem Herzmuskel.

STRAUB[1]) hat gezeigt, daß sich Aktin als solches aus Muskelbrei erst nach Azeton-Vorbehandlung extrahieren läßt; dieser Befund spricht für die Aufhebung von Bindungen des Aktins an Lipoide. Nach Arbeiten aus dem WEBERschen Institut[2]) läßt sich Aktin ferner nach mechanischer Zerstörung der Strukturen freisetzen. Andererseits weisen die pharmakologischen Wirkungen von Digitalisstoffen auf Beziehungen zu den Strukturelementen besonders des Herzmuskels hin[3]). Wir haben deshalb untersucht, ob Digitoxin einen Einfluß auf die Extrahierbarkeit von strukturgebundenem Protein hat. Wie aus der Fig. 1 hervorgeht, ist die Viskosität des ohne Digitoxinzusatz hergestellten Extraktes aus Herzmuskel wesentlich größer als diejenige mit Digitoxin; der Abfall der Viskosität auf Zusatz von Adenosintriphosphat (ATP) ist entsprechend im Digitoxinversuch viel geringer als im Kontrollversuch. Die nächstliegende Deutung dieser Befunde ist die, daß bei Extraktion in Gegenwart von Digitoxin eine geringere Menge Aktin bzw. Aktomyosin in Lösung geht (die Polymerisation von G- zu F-Aktin sowie die Dissoziation von Aktomyosin in seine Komponenten und umgekehrt auch die Symplexbildung aus diesen, fanden wir von Digitoxin nicht wesentlich beeinflußt). Das spricht dafür, daß Digitoxin einen charakteristischen Einfluß auf die Bindung der kontraktilen Proteine an die unlöslichen *Strukturen* der Herzmuskelfaser hat.

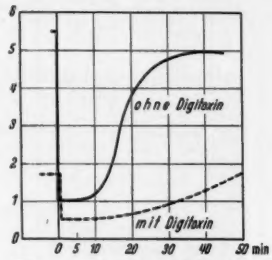


Fig. 1. Viskositäts-Zeit-Kurve. Kaninchenherz geteilt bei 0 bis 3°, extrahiert mit m/5 KCl + m/50 $NaHCO_3$ 90 min ohne bzw. mit Digitoxin (10 mg/100 cm³). 2 cm³ Extrakt versetzt mit 0,3 cm³ ATP-Lösung (5 mg/cm³).

Der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft danken wir für die Unterstützung dieser Arbeit.

Pharmakologisches Institut der Universität Mainz.
G. KUSCHINSKY, F. TURBA und G. LANGE.

Eingegangen am 1. Oktober 1951.

[1]) STRAUB, F. B.: Studies from the Institute of Medical Chemistry Univ. Szeged **2**, 3 (1942).
[2]) HASSELBACH, W., u. G. SCHNEIDER: Biochem. Z. **321**, 462 (1951).
[3]) LENDLE, L.: Arzneimittelforschg. **1**, 104 (1951) (Zusammenfassung).

Das Wesen der Trypaflavin-Agglutination unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse bei Shigella dysenteriae.

Bei SHIGA-KRUSE-Ruhrbakterien unterscheidet man zwei Dissoziationsformen (Mutanten): eine toxin- und endotoxinhaltige O-Form und eine o-Form, die kein Endotoxin, wohl aber Toxin bildet (PRIGGE)[1]). Unabhängig von dem Antigencharakter ist das morphologische Verhalten (Wuchsform); denn in Abhängigkeit von bestimmten Züchtungsbedingungen, z. B. Agarkonzentration (HEYMANN)[2]), kommt die R- (= rough = rauh) und S- (= smooth = glatt) Variante sowohl bei O- wie auch bei o-Keimen vor.

Außer ihrem gegensätzlichen serologischen Verhalten weisen O- und o-Formen noch ein weiteres Unterscheidungsmerkmal auf: nur o-Keime lassen sich nämlich durch eine 0,2%ige Trypaflavinlösung agglutinieren. PRIGGE und KICKSCH[3]) bedienten sich mit Vorteil dieser Reaktion zur Herstellung hochwertiger endotoxinfreier Toxinkonzentrate. Das Wesen dieser Farbstoffagglutination — ursprünglich von ALESSANDRINI und SABATUCCI[4]) zur Unterscheidung gewisser Brucellenarten angegeben — war bis jetzt ungeklärt.

Untersuchungen, die sich in anderem Zusammenhang mit der Frage der Oberflächenbeschaffenheit von Mikroorganismen befaßten, waren die Veranlassung, die elektrischen Ladungsverhältnisse der Bakterienoberfläche auch beim Zustandekommen der Trypaflavinreaktion zu berücksichtigen.

Eigene Versuche mit verschiedenen Farbstoffen ergaben, daß ausschließlich basische (= kathodische) Farbstoffe die Agglutination auszulösen vermochten.

Einige basische Farbstoffe führten noch in einer Verdünnung, die ein Vielfaches der angegebenen Trypaflavinkonzentration betrug, zur sicheren Agglutination. Mit neun der verwendeten Farbstoffe gelang darüber hinaus auch die Agglutination von O-Keimen. Auffällig ist, daß unter den höhermolekularen Verbindungen mehr Farbstoffe anzutreffen sind, die O-Keime agglutinieren, als unter denjenigen mit geringerem Molekulargewicht; ein gesetzmäßiges Verhalten konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Tabelle der untersuchten basischen Farbstoffe mit Angabe derjenigen Konzentrationen, die sicher zur Agglutination führen.
(„Fbb" = Mol.-Gew. der Farbbase und „Hgchl" = Mol.-Gew. des Hydrogenchlorids. F. d. P. E. I. = Farbstoffsammlung des Paul-Ehrlich-Instituts.)

Lfd. Nr.	Name und Herkunft	Mol.-Gew.	Titer o	Titer O
1	Acridingelb (Merck)	237 (Fbb)	+ (m/1600)	–
2	Chrysoidin (F. d. P. E. I.)	248 (Hgchl)	+ (m/400)	–
3	Rivanol (F. d. P. E. I.)	253 (Fbb)	+ (m/1600)	–
4	Trypaflavin (Herkunft unbekannt)	259 (Hgchl)	+ (m/1600)	–
5	Acridinorange (Behringwerke)	265 (Fbb)	+ (m/1600)	–
6	Neutralrot (Grübler)	287 (Hgchl)	+ m/1600)	–
7	Coriphosphin (Bayer)	287 (Hgchl)	+ (m/1600)	+ (m/200)
8	Auramin (Herkunft unbekannt)	303 (Hgchl)	+ (m/400)	–
9	Pyronin (Grübler)	303 (Hgchl)	+ (m/400)	+ (m/50)
10	Methylenazur (Höchst)	305 (Hgchl)	+ (m/1600)	–
11	Toluidinblau (F. d. P. E. I.)	305 (Hgchl)	+ (m/6400)	+ (m/400)
12	Methylenblau (F. d. P. E. I.)	319 (Hgchl)	+ (m/1600)	–
13	Rosanilin (= Fuchsin) (Merck)	337 (Hgchl)	+ (m/1600)	+ (m/200)
14	Malachitgrün (Hohlborn)	365 (Hgchl)	+ (m/800)	–
15	Methylviolett (Kahlbaum, Berlin)	393 (Hgchl)	+ (m/1600)	–
16	Bismarckbraun (Merck)	418 (Hgchl)	+ (m/1600)	+ (m/1600)
17	Brillantgrün (Höchst)	421 (Hgchl)	+ (m/800)	–
18	Tryparosan (I. G. Farben)	427 (Hgchl)	+ (m/800)	+ (m/200)
19	Viktoriablau (Behringwerke I.G.)	505 (Hgchl)	+ (m/1600)	+ (m/400)
20	Janusgrün (Grübler)	538 (Hgchl)	+ (m/12800)	+ (m/200)

Es war nicht möglich, mit saueren (= kathodischen) Farbstoffen eine Agglutination herbeizuführen. (Geprüft wurden folgende Farbstoffe: Bordeauxrot, Diaminechtgelb, Eosin bläulich, Eosin gelblich, Fluorescin K, Fluorescin N, Kongorot, Kristallponceau, Rubin S, Sulforhodamin, Trypanblau, Wasserblau.)

Wurden die Bakteriensuspensionen (o-Keime) vor ihrer Untersuchung in Pufferlösungen gewaschen und die Agglutinationsversuche mit gepufferten Farbstofflösungen verschiedener Konzentrationen ausgeführt, so trat die Agglutination im Bereich von p_H 5,1 bis p_H 9,2, d.h. mit abnehmender C_H, deutlicher, schneller und grobkörniger ein. Erwies sich bei einem als „basisch" bekannten Farbstoff der Agglutinationstiter als unerwartet niedrig (wie z. B. beim Pyronin), so ergab die Prüfung seines elektrophoretischen Verhaltens eine ausgesprochen träge Wanderung zur Kathode. Eine Pyroncharge anderer Herkunft ergab einen normalen Agglutinationstiter und zeigte demgemäß eine schnellere Wanderungsgeschwindigkeit.

Es ist anzunehmen, daß es sich bei den geschilderten Agglutinationsvorgängen um eine elektrostatisch bedingte Adsorption von Farbstoffkationen an der negativ geladenen Bakteriencberfläche handelt und daß — genügende Farbstoffkonzentrationen vorausgesetzt — diese die Entladung (= Sedimentation = Agglutination) der Bakterien bewirkt. Unsere Vorstellung über den Unterschied von O-Keimen und o-Keimen geht dahin, daß ihr isoelektrischer Punkt verschieden ist und die Anzahl der wirksamen negativen Oberflächenladungen nicht übereinstimmt. Eine durch Veränderung des Puffers bewirkte Verschiebung des p_H-Wertes in den alkalischen Bereich führt bei den Bakterien zu einer Zunahme der negativen Oberflächenladung und damit zu einer stärkeren Farbstoffadsorption, die dementsprechend zu einer deutlicheren Agglutination führt. — Versuche zur direkten Bestimmung der Oberflächenverhältnisse mittels Mikro-Elektrophorese sind im Gange und werden später mitgeteilt werden.

Aus dem Chemotherapeutischen Forschungsinstitut „Georg-Speyer-Haus" zu Frankfurt a. M., Direktor: Prof. Dr. R. Prigge.

Wolf-Helmut Wagner und Henrich Bredehorst.

Eingegangen am 10. Oktober 1951.

[1]) Prigge, R.: Zbl. Bakter. I Orig. **144**, 4 (1939).
[2]) Heymann, G.: 5. Nachkriegstagg. der Dtsch. Ges. für Hygiene u. Mikrobiologie, Münster 1951.
[3]) Prigge, R., u. L. Kicksch: Z. Hyg. **123**, 417 (1941).
[4]) Alessandrini, A., u. M. Sabatucci: Ann. Igiene **41**, 29 (1931).

Abtötung von Drosophila-Eiern verschiedenen Alters durch partielle Röntgenbestrahlung.

Röntgenbestrahlung verschieden langer Abschnitte von 1 bis 2 Std alten Eiern eines Wildstammes von *Drosophila melanogaster* hatten ein erstes grobes Bild davon vermittelt, wie die Strahlenempfindlichkeit im Ei verteilt ist[1]). Dieses Bild ließ sich durch Versuche verbessern, in denen, statt der vorher verwendeten Blei-Randblende, eine Bleiblende mit 0,1 mm breitem Spalt benutzt wurde[2]). Sie ermöglichte, die einzelnen, 0,1 mm messenden Fünftel der im Mittel 0,52 mm langen Eier gesondert zu bestrahlen. Die Prozentsätze an nicht schlüpfenden, d.h. abgetöteten Eiern ließen sich jetzt, nach Abzug des in unbestrahlten Kontrollen auftretenden Satzes an toten Eiern, unmittelbar als Index für die Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Eisektoren verwenden.

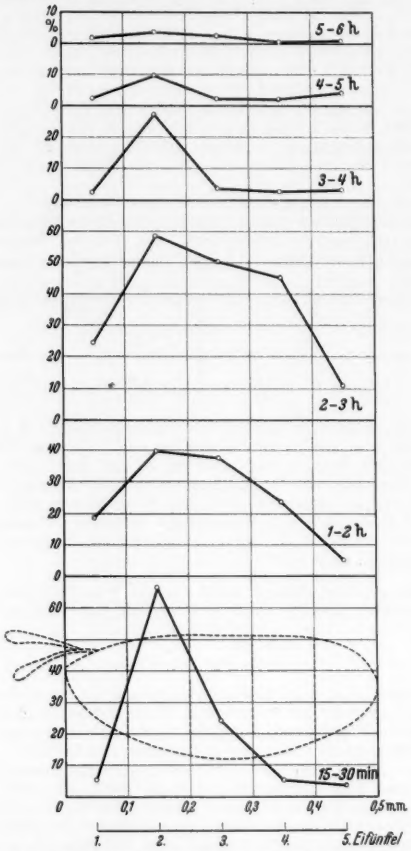


Fig. 1. Korrigierte Prozentsätze nicht geschlüpfter Drosophila-Eier (Ordinate) nach Röntgenbestrahlung der einzelnen, 0,1 mm langen Fünftel (Abszisse) von Eiern verschiedenen Alters (15—30 min bis 5—6 Std) mit 1000 r. 50 kV, 2 mA, 0,5 mm Al HWS, Filter 1 mm Cellon, 10 cm Fokusabstand, 217 r/min. Gerät RT 50 von *C. H. F. Müller*, Hamburg. Bestrahlte Eier insgesamt 28 680.

Nachdem bisher ausschließlich 1 bis 2 Std alte Eier mit einer Dosis von 200 r behandelt und dabei relativ niedrige Abtötungsprozentsätze erhalten worden waren, wurden neuerdings Eier verschiedenen Alters mit 1000 r partiell bestrahlt. Spaltblendenbestrahlung 15 bis 30 min alter Eier ergab (Fig. 1, unterste Kurve) für das zweite Eifünftel ein hohes, sehr steiles Maximum der Strahlenempfindlichkeit, für das mittlere Fünftel einen wesentlich tieferen Wert, für die übrigen Fünftel minimale Werte. Diese charakteristische Empfindlichkeitsverteilung läßt sich gut zu den entwicklungsgeschichtlichen Tatsachen in Beziehung setzen: Im zweiten Fünftel nimmt die Furchung des Eies ihren Ausgang. Im Alter von $23 \pm 1{,}72$ min erfolgt die erste, im Alter von $34 \pm 1{,}72$ min die zweite Furchungsteilung[4]). Nach dem dritten Teilungsschritt liegen die Kerne bereits in der Eimitte[3]). Somit sind im 15 bis 30 min alten Ei entweder die beiden Vorkerne oder nur

2, allenfalls 4 Furchungskerne vorhanden, die im wesentlichen noch im zweiten Eifünftel, in der Region des Furchungszentrums, liegen. Wir können die hohe Strahlenempfindlichkeit dieses Fünftels zweifellos der Anwesenheit dieser Kerne zuschreiben, die mäßige Empfindlichkeit des mittleren Eifünftels aber wohl dem Umstand, daß die Kerngruppe wenigstens bei einem Teil der Eier auf diesen Sektor übergreift oder gelegentlich auch schon in ihn verlagert ist. Doch könnte der Befund, daß neben dem zweiten auch das mittlere Eifünftel strahlenempfindlich ist, auch mehr oder weniger methodisch bedingt sein; denn die Lage des jeweils bestrahlten Eifünftels wurde stets gemeinsam für 100 in einer Reihe angeordnete, gleichzeitig bestrahlte Eier, ungeachtet ihrer Längenvariabilität, mittelsMikrometerschraube in *absoluten* Maßeinheiten bestimmt, wobei von den vorderen oder den hinteren Eipolen als Nullpunkt ausgegangen wurde, *nicht* jedoch *relativ* für jedes einzelne Ei. Die übrigen drei, keine Kerne enthaltenden Eifünftel sind minimal strahlenempfindlich. Dieser Befund ist gleichzeitig ein Beitrag zur Frage, ob Kern oder Plasma für den Strahlentod einer Zelle verantwortlich ist.

Mit zunehmendem Ealter wird das Kurvenmaximum flacher, die Strahlenempfindlichkeit verteilt sich im Ei. Das kann mit dem Sichverteilen der Kerne erklärt werden. Daß das Empfindlichkeitsmaximum bei den 1 bis 2 Std alten Eiern, wenn auch nicht so deutlich ausgeprägt wie bei den jüngsten, weiterhin im zweiten Eifünftel liegt, könnte darauf beruhen, daß dieses Fünftel möglicherweise in diesem Ealter noch im Mittel eine größere Kernzahl enthält als die übrigen Sektoren, obwohl das 1 bis 2 Std alte Ei sich bereits auf dem Stadium fortgeschrittener Furchungsteilungen und des Wanderns der Furchungskerne zum Keimhautblastem befindet, wo auch schon erste bis vierte Teilung der Blastodermkerne stattfinden können[4]). Doch die maximale Strahlenempfindlichkeit verbleibt auch bei weiter zunehmendem Ealter im zweiten Eifünftel. Das dürfte sich nicht mehr einfach mit der Annahme einer entsprechenden Häufigkeitsverteilung der Kerne im Ei erklären lassen. Allgemein die höchsten Abtötungsprozentsätze lieferte die Spaltblendenstrahlung mit 1000 r bei den 2 bis 3 Std alten Eiern. Ältere Eier ergaben nur niedrige Prozentsätze. Das entspricht den Erfahrungen aus Totalbestrahlungsversuchen[5]), daß nämlich die Strahlenempfindlichkeit der Eier oberhalb eines Alters von 2 bis 3 Std stark abnimmt.

Zoologisches Institut der Universität Göttingen.

HANS ULRICH.

Eingegangen am 1. Oktober 1951.

[1]) ULRICH, H.: Biol. Zbl. **70**, 274 (1951).
[2]) ULRICH, H.: Naturwiss. **38**, 121 (1951).
[3]) KRAUSE, G.: Biol. Zbl. **59**, 495 (1939).
[4]) RABINOWITZ, M.: J. Morphology **69**, 1 (1941). — DEMEREC, M.: Biology of Drosophila. New York 1950.
[5]) Ältere Literatur bei TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, N. W., u. K. G. ZIMMER: Biophysik, Bd. 1. Leipzig 1947. — SOMMERMEYER, K.: Naturwiss. **38**, 289 (1951). — ULRICH, H.: Verh. dtsch. Zool. Ges. 1951, Zool. Anz., **16**, Suppl.-Bd.

Zur Struktur der Paramecien-Trichocysten.

Reizt man Paramecien*) in wäßriger Aufschwemmung mit Formol, Pikrinsäure oder elektrisch, oder läßt man einen Wassertropfen mit Pantoffeltierchen auf einem elektronenmikroskopischen Objektträger eintrocknen, so schleudern sie eine große Anzahl von Trichocysten aus. Das elektronenmikroskopische Bild einer solchen Trichocyste, bestehend aus Schaft und Spitze, zeigt nach Schrägbedampfung neben einem Bakterium (Fig. 1) bei 16500facher Vergrößerung. Nach JAKUS[1]), die als erste Trichocysten im Elektronenmikroskop untersucht hat, besteht ihr als Schlauch ausgebildeter Schaft aus einem Protein, das dem Kollagen sehr ähnlich ist. Er ist quergerippt, mit einem Abstand von 550 Å. Diese Periode ergibt sich auch aus übermikroskopischen Bildern anderer Autoren[2]) und kann auch aus unseren Aufnahmen abgelesen werden. Aber auch die Spitze der Trichocysten zeigt eine Querstreifung, worauf JAKUS in ihrer zweiten Arbeit bereits hingewiesen hat. Die Periode der Spitzenquerstreifung wird im Mittel zu 300 Å angegeben und konnte bisher nur subjektiv aus der Originalaufnahme ermittelt werden. Durch eine verfeinerte, sehr kontrastreich arbeitende Schrägbedampfungsmethode kann man die Querstreifung auch in der Reproduktion wiedergeben. Sie wird in Fig. 2 an einer abgebrochenen, in Fig. 3 an einer noch am Schaft befindlichen Spitze gezeigt. Ihre Periode ist mit 300 Å in guter Übereinstimmung mit dem JAKUSschen Befund. Zum Vergleich der verschiedenen Rippenabstände ist in Fig. 2 jeweils die Länge von zehn Schaftrippen und 10 Spitzenrippen durch einen Maßstab angedeutet.

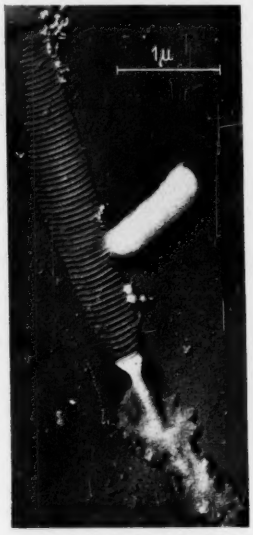


Fig. 1. Vergr. 16500fach.

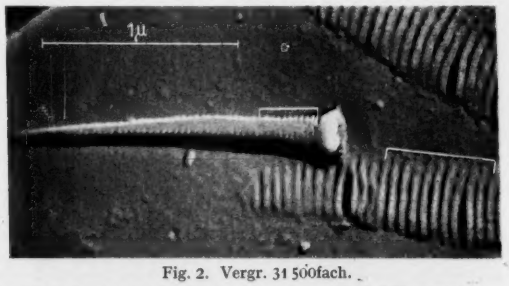


Fig. 2. Vergr. 31500fach.

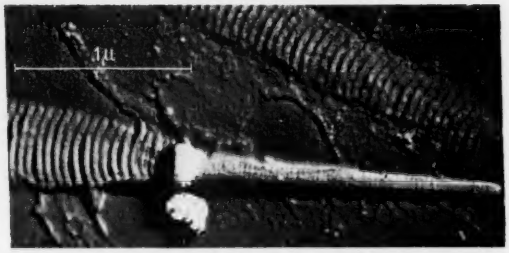


Fig. 3. Vergr. 28000fach.

Fig. 1—3. Trichocysten von Paramecien. Schrägbedampft. Schaftperiode 550 Å, Spitzenperiode 300 Å. (Photographisches Negativ.)

III. Physikalisches Institut der Universität Göttingen.

MECHTHILD KNOCH und HANS KÖNIG.

Eingegangen am 13. September 1951.

*) Die Paramecienkulturen wurden freundlicherweise von Dr. J. SCHWARTZKOPFF, Zoologisches Institut, zur Verfügung gestellt.

[1]) JAKUS, M. A.: J. of exper. Zool. **100**, 457 (1945). — JAKUS, M. A., u. C. E. HALL: Biol. Bull. **91**, 141 (1946).
[2]) PEASE, D. C.: J. cellul. a. comp. Physiol. **29** (1947). — WOHLFARTH-BOTTERMANN, K.-E.: Naturwiss. **37**, 562 (1950). — BEYERSDORFER, K.: Z. Naturforschg. **6b**, 57 (1951).

Hyperploidie in der Gattung Vitis.

Die Familie der Vitaceen (Rebengewächse) ist durch große Einheitlichkeit in ihren Chromosomenzahlen ausgezeichnet. Nahezu alle bisher untersuchten Genera besitzen $2n = 40$ Chromosomen. Die einzige Ausnahme hiervon bildet die Untergattung *Euvitis* der Gattung *Vitis*, deren zahlreiche Arten (unter ihnen die Kulturrebe *V. vinifera*) durch eine Chromosomenzahl von $2n = 38$ ausgezeichnet sind, eine Abweichung, die möglicherweise im Sinne der ROBERTSONschen Regel erklärbar ist.

Den Chromosomenverhältnissen entspricht auch die Kreuzbarkeit der verschiedenen *Vitis*-Arten. Während alle 38-chromosomigen *Euvitis*-Spezies sich untereinander als ausgesprochen leicht kreuzbar erweisen und auch in den folgenden Bastardgenerationen keine ernsthaften Fertilitätsstörungen erkennen lassen, stößt man auf nahezu unüberwindliche

Schwierigkeiten, sobald man versucht, diese Arten mit 40-chromosomigen Formen aus der Untergattung *Muscadinia* oder aus anderen Vitaceengattungen zu kombinieren. Nur einige wenige (dazu nicht einmal ganz sichere) Kreuzungen von *Euvitis*-Arten mit *V.* (*Musc.*) *rotundifolia* sind bisher bekannt geworden[1]). Dies ist um so bedauerlicher, als gerade solche Kreuzungen für resistenzzüchterische Arbeiten ganz besonders erfolgversprechend sind. In Anbetracht der auffallenden Parallelität zwischen Kreuzbarkeit und Chromosomenzahl erscheinen nun hyperploide 40-chromosomige *Euvitis*-Pflanzen von besonderer Bedeutung. Solche Hyperploiden sind indessen extrem selten; die einzigen bisher bekannt gewordenen Individuen sind zwei *V. vinifera*-Sämlinge, die HUSFELD zitierte[2]) und die offensichtlich semiletal waren, da sie bereits nach wenigen Monaten ohne jeden ersichtlichen Grund abstarben.

Eine planmäßige Durchmusterung der großen *Vitis*-Sammlung unseres Instituts ergab nun eine Pflanze, die eindeutig $2n = 40$ Chromosomen besitzt. Diese Zahl wurde sowohl an somatischen Mitosen aus Wurzel-, Sproß- und Rankenspitzen wie an meiotischen Teilungsstadien sichergestellt. Es handelt sich um eine als „Riparia Colorado" geführte Sorte, die einer F_1-Kreuzung der beiden nordamerikanischen Wildarten *V. riparia* × *V. monticola* entstammt. Die Pflanze zeigt normale Vitalität und Fertilität, wie solche auch bei den meisten anderen *Euvitis*-Bastarden beobachtet wird.

Von besonderem Interesse ist das geschlechtliche Verhalten der hyperploiden Sorte. Nach ihren morphologischen Merkmalen muß sie als reines ♂ angesprochen werden; physiologisch läßt sich dagegen eine unverkennbare Tendenz zur Zwittrigkeit feststellen, da nach Selbstbestäubung in einem von Jahr zu Jahr stark wechselnden Prozentsatz keimfähige Samen erzeugt werden. Diese Tatsache ist um so bemerkenswerter, als es sich hier um einen Bastard von zwei völlig getrenntgeschlechtlichen Arten handelt, bei welchen derartige zwittrige Tendenzen sonst niemals gefunden wurden, während solche bei Bastard-♂♂ aus Kreuzungen mit zwittrigen *vinifera*-Sorten gelegentlich, wenn auch längst nicht so ausgeprägt, festgestellt wurden. Man darf diesen hyperploiden Sämling also wohl mit Sicherheit als ein Intersex mit stark männlicher Tendenz ansprechen. Diese Beobachtung legt den Schluß nahe, daß die Lokalisation der Geschlechtsrealisatoren in der Gattung *Vitis* dem *Melandryum*-Typ (Lichtnelken-Typ) entspricht und daß im vorliegenden Fall die Hyperploidisierung eines der Autosomen mit ♀-Realisator betroffen hat.

Forschungs-Institut für Rebenzüchtung Siebeldingen i. d. Pfalz.

GUSTAF DE LATTIN.

Eingegangen am 12. Oktober 1951.

[1]) DETJEN, L. R.: N. C. agr. exper. Sta. Techn. Bull. **17**, 5 (1919); **18**, 7 (1919). — WILLIAMS, C.: N. C. agr. exper. Sta. Techn. Bull. **23**, 1 (1923).

[2]) HUSFELD, B.: Gartenbauwiss. **7**, 15 (1933).

Zur Pathogenese der Hirnschwellung,

zugleich ein Beitrag zur Frage der katalysierenden Wirkung des Hirngewebes auf Polymerisationsvorgänge.

Läßt man *Acrylamid* in monomerer Form in das *Hirngewebe* hineindiffundieren und bringt es dann zur *Polymerisation*, so erhält das Gehirn hinsichtlich seiner Konsistenz und Schnittfähigkeit etwa die Merkmale, wie man sie bei der *Hirnschwellung* zu sehen gewohnt ist. Die Konsistenz des Hirngewebes ist im Sinne einer elastischen Festigkeit deutlich erhöht, die Schnittflächen sind trocken und von klebriger Beschaffenheit.

Legt man ein frisch seziertes *Mäusegehirn* unter geeigneten Bedingungen in eine wäßrige Acrylamidlösung ein und bringt diese wiederum durch Zusatz geeigneter Katalysatoren zur Polymerisation, so läßt sich beobachten, daß die Umwandlung des *gelösten* monomeren Acrylamids zu einem hochpolymeren *festen* Polyacrylamid am schnellsten an der äußeren Oberfläche des Gehirns einsetzt. Aus diesen Versuchen haben wir geschlossen, daß *im Gehirn selbst katalysierende* polymerisations*fördernde Stoffe* enthalten sind, die aus diesem in die umgebende monomere Lösung diffundieren.

Wiederholt man diese Versuche *ohne Zusatz* katalysierender Substanzen, legt man also unter geeigneten Bedingungen ein frisch seziertes Mäusegehirn in eine Acrylamidlösung ein, so beobachtet man, daß das *Hirngewebe* tatsächlich *von sich aus* eine *polymerisationsfördernde Kraft* entfaltet. Die *Konsistenz* des *Gehirns* wird erhöht im Sinne einer *elastischen Festigkeit*, das umgebende Acrylamid bleibt flüssig.

Wiederholt man diese Versuche unter gleichen geeigneten Bedingungen mit einer frischen *Hirngewebssuspension*, zerquetscht man also im Gewebemörser ein frisch seziertes Mäusegehirn direkt *in* einigen Kubikzentimetern *Acrylamidlösung* bis zur Erhaltung einer Hirngewebsaufschwemmung, so zeigt der reproduzierbare Versuch, daß die *Polymerisationskraft* der Gewebssuspension eines Mäusegehirns offenbar durch Freiwerden katalysierender Substanzen ausreicht, diese Acrylamidlösung bei Körperwärme (37°) *bis zu* einem *festen Zustand* durchzupolymerisieren. Wir haben damit den Beweis, daß es sich bei der Verfestigung des Gehirns im Sinne der *Hirnschwellung* nach Durchtränkung desselben mit Acrylamidlösung *ohne* Zusatz hirnfremder Katalysatoren wirklich um einen *Polymerisationsvorgang* handelt, der *durch gewebseigene Katalysatoren* in Gang gesetzt wird.

Diese polymerisationsfördernde Wirkung des Hirngewebes führt besonders dann zu einer der Hirnschwellung makroskopisch identischen Veränderung, wenn man das Hirngewebe durchtränkt mit monomeren Systemen, die im Reagenzglas unter Anwesenheit *reduzierender* Katalysatoren besonders leicht zur Polymerisation neigen. Aus den Versuchen ergeben sich Anhaltspunkte, daß auch im Hirngewebe bei der Entstehung der Hirnschwellung katalysierende Substanzen oxydierender und *reduzierender* Wirkung, eventuell im Sinne eines speziellen Redoxsystems den Polymerisationsvorgang auslösen, wobei auf Grund der Versuche einem erhöhten *Reduktionspotential* besondere Bedeutung beigemessen wird.

Zur Polymerisation neigende chemische Substanzen *ungesättigten* Charakters kommen intermediär sowohl im Lipoidstoffwechsel des Gehirns als ungesättigte Fettspaltungsprodukte als auch als ungesättigte Spaltprodukte des Eiweißstoffwechsels vor. Zu diesen hat das für den Modellversuch gewählte *Acrylamid enge chemische Beziehungen*.

Infolge der beim Polymerisationsvorgang stattfindenden Umwandlung aus einem flüssigen in einen festeren Zustand kann es offenbar *im Rahmen der Entwicklung einer Hirnschwellung* zu einer *Ansammlung derartiger Substanzen im Hirngewebe* kommen, wie diese RIEBELING mit quantitativen Methoden für stickstoffhaltige Substanzen nachgewiesen hat. Außer durch Polymerisationsvorgänge kann eine Verfestigung des Gehirns auch durch Bildung hochmolekularer Körper im Rahmen von Polykondensationsvorgängen erfolgen.

Hochpolymere Substanzen in festem Zustand vom Typ des Polyacrylamids neigen in wäßrigem Milieu unter Erhaltenbleiben ihrer äußeren Form zu unbegrenzter Quellung, welche, soweit es sich um vernetzte Hochpolymere handelt, von deren Vernetzungsgrad abhängt. Die sog. „Übergänge" der Klinik zwischen Hirnschwellung und Hirnödem können sich aus dieser Quellungsneigung eines einmal gebildeten Polymerisats vom Typ des Polyacrylamids zwanglos herleiten, wobei aber hervorzuheben ist, daß auf Grund der aus den Versuchsergebnissen gewonnenen Vorstellung die im Verlaufe der verschiedensten Erkrankungen vorkommende *Hirnschwellung* REICHARDTS *ihrem Wesen nach* als *Polymerisationsvorgang* gedeutet und der zur Hirnschwellung führende Vorgang vom Hirnödem getrennt wird.

(Ausführliche Veröffentlichung erfolgt an anderer Stelle.)

Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Neuropathologische Abteilung in Gießen.

GÜNTHER WILKE

unter Mitarbeit von HERBERT GENSEL, Leverkusen.

Eingegangen am 1. Oktober 1951.

Berichtigung

zu dem Aufsatz „Woldemar Voigt zum hundertsten Geburtstage" von K. FÖRSTERLING, Naturwiss. **38**, 217 (1951): Infolge eines Irrtums ist als Todesjahr 1920 angegeben worden. WOLDEMAR VOIGT ist tatsächlich am 13. Dezember 1919 gestorben.

Verantwortlich für den Textteil: Prof. Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg.
Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg.

Iso-Debyeflex der neue

Röntgenapparat mit kontinuierlich konstanter Gleichspannung für Feinstruktur-Untersuchungen

in Verbindung mit Interferenz-Goniometer und Zählrohrgerät mit Universal-Registriergerät

Rich. Seifert & Co. Hamburg 13

Röntgenwerk

Die organischen Katalysatoren

und ihre Beziehungen zu den Fermenten

Von

Dr. **Wolfgang Langenbeck**
o. Professor an der Universität Rostock

Zweite Auflage. Mit 8 Textabbildungen. VIII, 136 Seiten. 1949. DM 15.—

„Die vorliegende Monographie ist aus dem Gedanken heraus entstanden, daß die allgemeine Chemie der organischen Katalysatoren eine notwendige Grundlage der Enzymchemie ist. Das Lehrgebäude der organischen Katalyse soll so beschaffen sein, daß die Fermente als komplizierte Spezialfälle später darin ihren Platz finden können." Mit diesen Worten hat der Autor 1935 die erste Veröffentlichung seines nicht umfänglichen, aber inhaltreichen Werkes eingeleitet. In der soeben erschienenen 2. Auflage ist dieser Grundgedanke an Hand des inzwischen angesammelten Materials noch weiter ausgebaut worden. Zur Erhöhung der Übersichtlichkeit wurde die Stoffanordnung wesentlich verbessert, was eine vollständige Umarbeitung des Buches notwendig gemacht hat. Dieses ist jetzt von vorbildlicher Klarheit und sehr anregend geschrieben. — Daß sich der Autor auf dem rechten Wege befindet, beweisen seine schönen experimentellen Erfolge bei der Aktivierung von Katalysatoren durch Substitution, wobei ihm die Herstellung von Fermentmodellen gelang, die wichtige Aussagen über konstitutionelle Eigentümlichkeiten von Enzymen gestattet. — Das Buch von Langenbeck gehört zu den Werken, die der Enzymchemie auch weiterhin von großen Nutzen sein werden.

Kolloid-Zeitschrift

Polymerisationskinetik

Von

L. Küchler
Göttingen

Mit 44 Abbildungen und 31 Tabellen im Text. VIII, 287 Seiten. 1951 Ganzleinen DM 36.60

Die Aufgabe der Polymerisationskinetik ist die quantitative Erfassung derjenigen Gesetzmäßigkeiten, nach denen die Entstehung hochmolekularer Substanzen aus niedermolekularen Verbindungen, den „Monomeren", verläuft. Bei der ungeheuren Bedeutung, die der Chemie der Makromolekularen heute zukommt, sei es auf dem Gebiet der Naturstoffe, sei es auf dem industriell wichtigen der Erzeugung hochmolekularer Kunststoffe, bestand nach einem Werk dringender Bedarf, welches die Kinetik der Polymerisations- und Polykondensationsreaktionen zusammenfassend behandelt. Dieses Werk hat Dr. Küchler geschaffen, und es ist das einzige Buch über dieses Arbeitsgebiet.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Versuch einer Ontologie der Persönlichkeit

Von

Manfred Thiel

Erster Band:

Die Kategorie des Seinszusammenhanges und die Einheit des Seins

XXIII, 635 Seiten. 1950. Ganzleinen DM 29.70

Inhaltsübersicht in Hauptteilen:

1. Teil: **Vernunft und Dialektik in der Philosophie.** — 2. Teil: **Das Problem des Raumes.** — 3. Teil: **Das Problem der Genese.** — 4. Teil: **Das Problem der Zeit.** — 5. Teil: **Die Handlung und das Problem des Wertes.** — 6. Teil: **Grundlage der Moralität.** — 7. Teil: **Das Persönlichkeitsideal.** — 8. Teil: **Der europäische Wertraum und die Welt.**

Daß Ärzte sich heute wieder für Philosophie interessieren, liegt daran, daß man in Arztkreisen über lange Zeit nicht gemerkt hat, wie sehr man oft, indem man in der medizinischen Wissenschaft tätig ist, philosophiert. Man ist gezwungen, sich philosophisch neu zu orientieren, weil die Ergebnisse des Experimentierens an dem, was man heute eigentlich wissen will, vielfach vorbeigehen. Undeutlich ist man sich seiner philosophischen Vorurteile bewußt geworden. — Im Gefühl von Vorurteilen hat man sich da und dort erkenntniskritisch eingestellt. Das nicht immer glückliche Ergebnis waren einige neue Bewegungen in der Medizin. Immerhin hat sich gezeigt, daß eine neue Einstellung notwendig geworden ist, man hat ein Organ dafür bekommen, daß eine Epoche durch bestimmte Auslegungen des Seienden erst ihren geistigen Gehalt bekommt. Mehr und mehr fühlt man sich daher gedrängt, die Philosophen, die man ob des Festhaltens an seiner eigenen, versteckten Philosophie lange Zeit nicht hat hören wollen, wieder zu fragen. — In der modernen Philosophie geht es allgemein um eine neue Metaphysik des Seienden. Diese allerdings kann nicht wahrheitsgemäß entworfen werden, ohne daß die Philosophen sich den, von Einzelwissenschaftlern erworbenen, Erkenntnissen verpflichtet fühlen. — Die moderne Ontologie, die Metaphysik des Seienden, geht fast ausnahmslos von der Frage aus, was der Mensch sei. Um so mehr sind wir als Ärzte verpflichtet, bei den Philosophen in die Schule zu gehen. Und da wir diesen Unterricht einige Dezennien lang geschwänzt haben, bleibt uns nichts übrig, etwas mühsam nachhinkend, den vorhandenen Stoff zu durchlaufen. — Der Mensch, und hier setzt das vorliegende Buch ein, kann nicht, wie wir das als Mediziner und Biologen zu versuchen gewohnt sind, für sich allein begriffen werden, sondern schließt die übrige Welt in sich ein. In einer Ontologie der Persönlichkeit muß daher von dieser Welt mitgesprochen werden. Zum Wesen des Menschen gehört es, auf die Ganzheit des Seins angewiesen zu sein und, in diesem Bewußtsein lebend, erst eigentlich zu sein, was man ist. — Weitaus die meisten, auf das Wesen des Menschen abzielenden Untersuchungen nehmen ihre Begriffsbildungen aus der Idee der Anpassung. Das Buch verweist dazu auf die Untersuchungen von Gehlen, Konrad Lorenz, Toynbee. Den Bemühungen, das Wesen des Menschen aus der Anpassung begreiflich zu machen, hält der Autor als Philosoph vor, eine Anpassung an die Welt könne es deshalb nicht geben, weil die Welt nichts Gegebenes, sondern eine Idee sei. Anpassung sei nur an Dinge in der Welt möglich. Allein der Begriff der Transzendenz ermögliche es, dem Phänomen der Evolution des Menschen gerecht zu werden. Folgerichtig verlangten daher die Evolutionsprobleme eine philosophische Behandlung. Dies geschieht in dem Buch an den Problemen von Raum, Zeit, Gegenwart, Nichts und Ewigkeit. — Es wäre töricht, versuchen zu wollen, hier auch nur einiges davon auszubreiten. Es ist klar, daß solche Untersuchungen im Problem der Ethik münden müssen, das unter der Überschrift Moralität und Persönlichkeit abgehandelt wird. — Auf den, der das Inhaltsverzeichnis liest, wirkt überraschend, daß den Abschluß des Buches eine Abhandlung über den europäischen Wertraum und die Welt bildet. Nachdem man sich aber vergewissert hat, wie sehr der Autor sich seiner philosophischen Herkunft von Nietzsche und Jaspers verpflichtet fühlt, wie er den Geist über das Wissen stellt, versteht man jedoch den organischen Zusammenhang eines politisch-soziologisch bestimmten Abschlusses mit dem Anliegen des Philosophen. *Klinische Wochenschrift.*

Die weiteren Bände werden behandeln:

Zweiter Band: **Philosophie der Unmittelbarkeit**

Dritter Band: **Philosophie der Gegenwärtigkeit**

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Diesem Heft liegen 2 Prospekte des Springer-Verlages / Berlin · Göttingen · Heidelberg, bei.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Hans-Georg Halfter, Berlin W 35, Reichpietschufer 20. — Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg. — Printed in Germany.